

Je jistě snahou každého, kdo se zabývá nějakým odvětvím lidské činnosti, aby pracoval co nejlépe, co nejekonomičtěji, co nejrychleji atd. – to vše vyžaduje, aby věděl co nejvíce o tom, co hodlá dělat. Úroveň nutných vědomostí bude však vždy jiná; co musí vědět začátečník jistě nebude stačit pokročilemu, vědomosti pokročilého jistě nebudou stačit „mistrovi svého oboru“. V každém případě se vědomosti pokročilého obvykle specializují, protože např. elektronika

mohl vědomě a dobře rozhodnout pro tu či onu součástku, pro to či ono zapojení atd. Zcela záměrně jsem uvedl slovo vědomě, neboť to znamená rozhodnout se se znalostí věci, po úvaze, což je jediné správný postup. Kromě základních znalostí o obvodech jsou v elektronice a elektrotechnice nutné alespoň základní znalosti o součástkách – především pro začátečníky. Že však nebudou na škodu i pokročilejším, vysvitne z následujícího příkladu. Obrá-

## Jak na to?

je dnes tak širokým oborem, že k dobrému zvládnutí problematiky všech jejich oborů by asi nestačil celý lidský život. To vše samozřejmě platí jak o amatérech, tak o profesionálech, snad pouze s tím rozdílem, že amatér se musí nutně více specializovat, chce-li dosáhnout ve „svém“ oboru mistrovství, neboť má na získávání vědomostí a zkušeností méně času, než profesionál, je mu méně přístupná odborná literatura atd., přenos potřebných informací je pro něj zkrátka složitější a obvykle i delší.

A začátečník či mírně pokročilý? I pro něj je obvykle složité sehnat informace, které potřebuje k tomu, aby se

til se na mne nedávno jeden můj známý, který si stavěl nf zesilovač. Šlo o to, že obvod korekcí nepracoval tak, jak by podle předpokladu a podle výpočtu pracovat měl – korekční charakteristiky neměly předpokládaný průběh a navíc se jejich průběh měnil, obvykle v závislosti na velikosti přiváděného zkušebního signálu. Z chování obvodu usoudil přítel, že by v něm mohl být studený spoj. Všechny součástky znovu připájel, zkoušel i pevnost přívodů k součástkám a výsledek byl stále stejný. Všechny součástky byly samozřejmě předem změřeny na přesném můstku, neboť šlo o ověření činnosti obvodu podle výpočtu. A tady se ukázalo, jak je nezbytné znát

co nejpodrobněji vlastnosti použitých součástek. Protože v současné době se těžko shánějí malé svitkové kondenzátory s velkými kapacitami, použil kondenzátory rozměrnější (a starší), u nichž jsou vývodní dráty pouze přiloženy k polepům – nikoli připájeny. Přechodový odpor mezi fólií kondenzátoru a vývodem byl pro malý signál velkou překážkou; vně se tento jev projevoval nedefinovatelností charakteristiky. A přitom stačilo

pouze nahlédnout do katalogu, kde se jasně uvádí, že tento typ kondenzátorů má minimální pracovní napětí 200 mV.

Tak tedy – toto číslo Konstruktera je věnováno, základním informacím o součástkách, jak pasívních, tak aktivních. Doufáme, že poslouží především těm, kteří začínají; současně se však domníváme, že v něm najdou zajímavé a potřebné údaje i ti, kteří se elektronice věnují delší dobu.

# Konstrukce elektronických zařízení

P. Hudeček, J. Mates

Základem úspěšné práce v běžné praxi radioamatéra je znalost jednotlivých součástek. Každý sebe podrobnější návod nemůže podchytit všechny toleranční změny elektrických elementů. Někteří amatéři se spoléhají pouze na návod či schéma a je tedy věcí náhody, bude-li jejich práce úspěšná. V případě neúspěchu si pak stěžují na autora návodu, i když by malou změnou (např. nastavení pracovního bodu tranzistoru) mohli obvod uvést do činnosti. V následujících kapitolách se čtenáři seznámí s vlastnostmi základních součástek i se zásadami návrhu jednodušších konstrukčních celků. Nepůjde zde o návrh obvodu, ale o vlastní realizaci zapojení, uvedeného v knize nebo časopisu.

## Odpor

Jednotkou elektrického odporu je 1 ohm ( $\Omega$ ). Odpor jeden ohm má vodič, kterým při napětí jednoho voltu protéká proud jeden ampér. Jednotkou tisíckrát větší je 1 kiloohm ( $k\Omega$ ), milionkrát větší je 1 megaohm ( $M\Omega$ ).

Odpor je jednou ze základních součástek. Např. v běžném rozhlasovém přijímači bývá několik desítek, v televizním přijímači až několik set odporů. Nejběžnější odpory, které se dnes převážně používají, jsou uhlíkové vrstevné odpory. Kromě běžných uhlíkových odporů se vyrábějí i jiné odpory, např. odpory uhlíkové izolované, které jsou zalisovány do izolantu. Mají tu výhodu, že je jejich povrch izolován, takže se mohou dotýkat okolních vodivých součástek. Dalším druhem jsou vrstevné uhlíkové odpory s větší spolehlivostí stabilní; vysokonapěťové s velkou impedancí; přesné ve skleněné trubce; vrstevné odpory s kovovou vrstvou; přesné metalizované destičkové; drátové odpory.

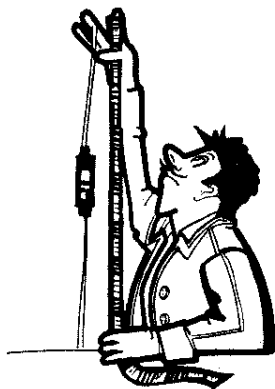
Číselný údaj odporu je vždy vytištěn na jeho povrchu. Říká se mu jmenovitý odpor. Ve skutečnosti však nemá každý odpor přesně jmenovitou velikost (hodnotu). Jeho skutečný odpor bývá v rozmezí dovolené úchylny (neboli tolerance). Vrstevné uhlíkové odpory se vyrá-

bějí s tolerancí  $\pm 20$ ,  $\pm 10$ ,  $\pm 5$ ,  $\pm 2$ ,  $\pm 1$ , a  $\pm 0,5$  %. Dovolené úchyly se označují těmito zkratkami: A – 10 %; B – 5 %; C – 2 %; D – 1 %; E – 0,5 %. Čím menší je tolerance, tím je odpor dražší. Nejvíce používanými odpory (v praxi) jsou odpory s tolerancí  $\pm 20$  a  $\pm 10$  %. Normalizované jmenovité odpory s tolerancí  $\pm 20$  % jsou 1; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8 a desetinásobky, stonásobky atd. S tolerancí  $\pm 10$  % se vyrábějí odpory 1; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3; 3,9; 4,7; 5,6; 6,8; 8,2 a desetinásobky, stonásobky atd. Jmenovitý odpor se na součástkách a ve schématech označuje zkratkami. Odpory menší než  $100 \Omega$  se značí jen číslicí (bez značky  $\Omega$ ). Tisíce ohmů se značí písmenem k za číslicemi, statisíce ohmů písmenem M před číslicemi, milióny ohmů písmenem M za číslicemi. Písmena nahrazují desetinné čárky. V textu se používá zásadně označení nezkrácené.

Vrstvové uhlíkové odpory se vyrábějí pro zatížení 0,05 W; 0,1 W; 0,125 W; miniaturní odpory pro zatížení 0,25 W; 0,5 W; 1 W; 2 W; 3 W a 5 W. Drátové odpory 1 W, 2, 6, 8, 10, 15, 25, 50, 75 a 100 W. Při nákupu odporu musíme udat i požadované výkonové zatížení.

Nemáme-li ve svých zásobách při stavbě nebo opravě přístroje předepsaný odpor, můžeme použít odpor pro jakékoli větší výkonové zatížení. Jde pouze o to, aby odpor svým rozměrem nepřekážel okolním součástkám. Nijak hezky totiž nepůsobí např. odpor 3 W použitý místo odporu 0,1 W mezi ostatními miniaturními součástkami, i když elektricky je v mnoha případech výhodnější. Kromě toho v obvodech s vysokofrekvenčním napětím velký povrch odporu vyzařuje více elektromagnetické energie, má větší kapacitu vzhledem k okolí a proto může způsobit kmitání nebo rozladění těchto obvodů.

Mezi proudem, napětím a odporem platí určitý vztah – určitá závislost. Ta-



to závislost je stanovena tzv. Ohmovým zákonem: napětí se rovná součinu proudu a odporu; v matematickém vyjádření  $U = IR$ ,

kde  $U$  je napětí ve V,

$I$  proud v A,

$R$  odpor v  $\Omega$ .

Z toho  $R = U/I$ ,

$I = U/R$ .

Odpory můžeme měřit můstky, voltmetrem a ampérmetrem (Ohmův zákon) nebo též přímo přístrojem, zvaným ohmmetr.

### Řazení odporů

Odpory vzájemně spojovat čili řadit můžeme dvojím způsobem:

a) za sebou, čili sériově,

b) vedle sebe, paralelně.

a) Při tomto spojení je spojen konec předchozího odporu s počátkem odporu následujícího (obr. 1)

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_x.$$

Výsledný odpor několika odporů, řaděných za sebou, se rovná součtu všech těchto odporů.

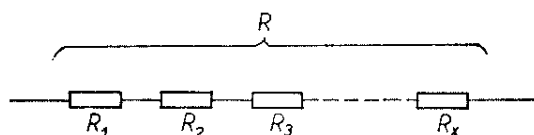
b) Paralelní spojení odporů je na obr. 2, výsledný odpor určíme ze vztahu

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots + 1/R_x;$$

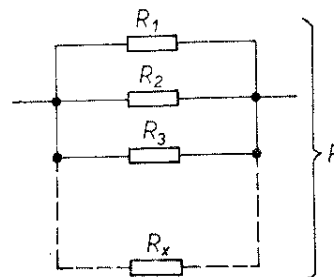
vyjádřeno slovně, převratná hodnota výsledného odporu se rovná součtu převratných hodnot dílčích odporů.

### Řazení odporů kombinovaně

Často se vyskytují případy, kdy je



Obr. 1. Řazení odporů do série



Obr. 2. Řazení odporů paralelně

spojení odporů velmi složité; několik odporů je např. spojeno za sebou, pak s nimi několik odporů paralelně apod. Takové obvody řešíme tím způsobem, že postupně převádíme spojení na jednodušší obvody, až dojdeme k obvodu, který můžeme řešit způsobem nám již známým.

#### *Rozdělení vrstevných odporů (uhlíkových a metalizovaných)*

1. Odporů pro všeobecné použití se používají jako anodové zátěže elektronek malého výkonu, děliče v napájecích obvodech, filtrační členy napájecích obvodů, bočníky a předřadné odpory v laděných obvodech atd. Běžné používané odpory jsou od  $1\ \Omega$  do  $10\ \text{M}\Omega$  pro jmenovitý výkon  $0,25\ \text{W}$ ,  $0,5\ \text{W}$ ,  $1\ \text{W}$ ,  $2\ \text{W}$  (zřídka do  $6\ \text{W}$ ). Provozní napětí u těchto odporů zpravidla nepřesahuje  $750\ \text{V}$ .
2. Stabilní odpory se používají v přesných měřicích zařízeních, v samočinných elektronických počítačích, v reléových systémech, v útlumových člancích, v odporových dekádách atd. Používány jsou odpory od  $1\ \Omega$  do  $1\ \text{M}\Omega$  (zřídka do  $10\ \text{M}\Omega$ ). Zvláštností těchto odporů je přesnost a stabilita parametrů.
3. Miniaturní odpory se používají převážně do miniaturních přístrojů a zařízení tam, kde jsou použity polovodiče. Jejich zvláštností jsou malé rozměry, menší rozsah vyráběných hodnot (od  $1,8\ \Omega$  do  $3,3\ \text{M}\Omega$ ), malé jmenovité zatížení (od  $0,05\ \text{W}$  do  $0,125\ \text{W}$ ) a malé provozní napětí (do  $250\ \text{V}$ ).
4. S velkými odpory se setkáme v měřicích přístrojích pro měření velmi malých proudů, v dozimetrech různých typů atd. Odporů v těchto přístrojích jsou větší než  $22\ \text{M}\Omega$  (až asi do  $1 \cdot 10^{14}\ \Omega$ ). Velikost jmenovitého zatížení u těchto odporů není normalizována.
5. Vysokonapěťové odpory jsou pro napětí  $5$  a  $15\ \text{kV}$ ; jmenovitý odpor mají do  $1 \cdot 10^{10}\ \Omega$ , obvyklé jmenovité zatížení je  $1$  a  $2\ \text{W}$  (pro použití v zařízeních vysokého napětí).
6. Odporů s potlačenou indukčností se

vyznačují malou indukčností a malou vlastní kapacitou (vyrábějí se bez vybroušené drážky); jejich jmenovitý odpor nepřesahuje  $4\ \text{k}\Omega$ . Používají se pro přijímací, vysílací, radiolokační a měřicí zařízení, pracují na kmitočtech vyšších než  $10\ \text{MHz}$ .

#### *Další charakteristické údaje odporů*

Jmenovité zatížení odporu se nazývá zatížení, které je vyznačeno na součástce, nebo v příslušné normě na součástku. V praxi to znamená největší přípustné dlouhodobé zatížení odporu při dané teplotě okolí. Toto zatížení je zpravidla i provozním zatížením, při němž součástka pracuje při udané teplotě okolí.

Provozní zatížení odporu se stanoví z nejvyšší přípustné teploty odporu, která je závislá na konstrukci odporu a na teplotní odolnosti použitých materiálů. Na teplotu odporů působí teplota okolí a teplo vznikající v odporu rozptýlením výkonu. Z tohoto důvodu se provozní zatížení stanoví v závislosti na teplotě prostředí, v němž odpor pracuje.

Maximální přípustné napětí se u odporů stanoví pro každý typ odporu zvlášť. Při překročení tohoto napětí může vzniknout na odporu zkrat.

Stabilita odporu je značně závislá na podmínkách, za nichž odpor pracuje, popř. na podmínkách, za nichž je skladován. V praxi je stabilita vyjádřena určitými změnami odporu, souvisejícími s dobou zatížení (popř. s dobou skladování), s klimatickými a mechanickými vlivy.

Teplotním součinitelem odporu se rozumí vratná změna odporu v závislosti na teplotě, definovaná na  $1\ ^\circ\text{C}$ .

Napěťovým součinitelem odporu se rozumí změna odporu v závislosti na velikosti připojeného napětí, udávaná na  $1\ \text{V}$  přiloženého napětí.

Rušivé střídavé napětí vznikající v odporu při jeho zatížení stejnosměrným napětím je tzv. šum odporu. Velikost šumu se udává na  $1\ \text{V}$  přiloženého stejnosměrného napětí.

Elektrická pevnost – u izolovaných typů odporů musí povrchová vrstva izolace vydržet nejméně dvojnásobek maximálního přípustného napětí odporu.

Izolační odpor mezi funkční vrstvou a povrchem u izolovaných typů odporů musí být minimálně 1 000 MΩ.

Spolehlivost odporů úzce souvisí s jejich používáním a skladováním, např. miniaturní typy odporů jsou ve srovnání s odpory běžných rozměrů křehčí. Nelze je používat jako bariéry pohlcující teplo, z toho důvodu se nedoporučuje pájet vývody odporů v kratší vzdálenosti než 6 mm od čel odporů po dobu ne delší než 7 vteřin při pečlivé regulaci pájecí teploty.

Typy vrstevných uhlíkových a vrstevných metalizovaných odporů jsou v tabulce 1.

#### *Rozdělení drátových odporů*

Drátové odpory tmelené se používají ve výkonových obvodech různých sdělovacích, měřicích a energetických zařízení a v napájecích obvodech, kde není na závadu indukčnost odporů a jejich vyšší provozní teplota; používají se odpory od 2,2 Ω do 100 kΩ.

Drátové odpory smaltované jsou určeny pro provoz v nízkofrekvenčních

Tab. 1. Typové řady vrstevných odporů (uhlíkových, TR 112 až WK 650 54 a metalizovaných, TR 151 až WK 681 83)

Typ	Jmenovité zatížení [W]	Popis
TR 112a	0,125	miniaturní
WK 650 53	0,25	izolované
TR 143 až 147	0,25 až 2	standardní
TR 106 až 108	0,25 až 1	přesné a stabilní
WK 650 30 a 31	0,05 až 0,1	miniaturní pro plošné spoje
TR 121 až 123	0,05 až 0,4	stabilní ve skleněné trubce
TR 130 a 131	1 a 2	vysokonapětové
TR 142	omezuje se největším přípustným napětím	lakované, zatavené
WK 650 05	omezuje se největším přípustným napětím	lakované
WK 650 54	0,125	subminiaturní
TR 151 až 154	0,25 až 2	vhodné pro plošné spoje
TR 181 až 183	1 až 3	výkonové
TR 161 až 164	0,125 až 1	stabilní s nízkým TK
WK 681 24	0,1 až 0,25	
WK 681 50 až 54		
WK 681 64 až 69	kombinované odpory	
WK 681 80 až 83	3 × 0,03    8 × 0,04	
		destičkové odpory
		metalizované přesné

obvodech a obvodech stejnosměrného proudu v prostředí s rozsahem teplot od  $-55$  do  $+125$  °C. Odporů se smaltem s nízkým bodem tání je možné použít pouze v takových obvodech, v nichž nemůže vzniknout přetížení větší, než udává norma. Tyto odpory lze případně použít i tam, kde jejich destrukce způsobená přetížením nemůže mít za následek požár nebo jiné poškození.

Drátové odpory měnitelné jsou určeny pro provoz v nízkofrekvenčních obvodech a obvodech stejnosměrného proudu. Používají se v různých měřicích a sdělovacích zařízeních. Odporů jsou nejspolehlivější, pracují-li při teplotě povrchu okolo  $100$  °C. Při této teplotě je zamezeno navlhání povrchu a ostatních částí odporu. Při zvětšování teploty

povrchu nad  $150$  °C se spolehlivost i doba života zmenšuje. Je-li odpor připevněn svorníkem procházejícím tělískem odporu, doporučuje se z hlediska zvětšení spolehlivosti volit polarizaci napětí tak, aby svorník byl vůči vinutí připojen ke kladnému pólu. Přehled typů drátových odporů je v tab. 2.

#### *Rozdělení polovodičových odporů*

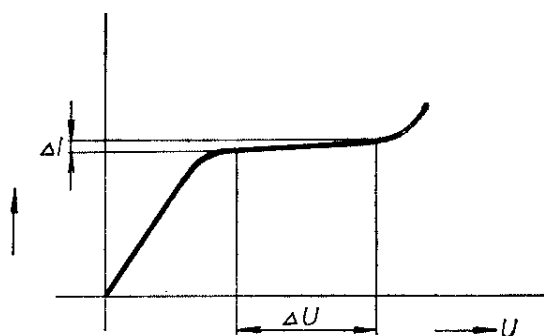
Napěťové závislé odpory – varistory se používají např. jako stabilizační prvky v ochranných obvodech stínících mřížek elektronek a k ochraně kontaktů v obvodech s indukčnostmi. Plošné fotoodpory a plošné fotoodpory napařované se používají pro měřicí a spínací obvody, zvláště vhodné jsou pro elektrické osvitoměry ve fotografické a filmové technice (tab. 3).

Tab. 2. Typy drátových odporů

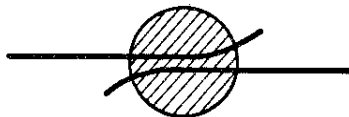
Typ	Jmenovité zatížení [W]	Popis
TR 639 až 642	10 až 50	smalt s vysokým bodem tání
TR 655 až 658	10 až 50	smalt s nízkým bodem tání
TR 649 až 652	10 až 50	smaltované s odbočkou
TR 645 až 648	25 až 100	smaltované ploché
TR 551 až 553	10 až 25	s páskovými vývody
TR 635 až 636	1 a 2	smaltované, axiální vývody
TR 510 až 512	6 až 15	
TR 556 až 558	10 až 25	smaltované s odbočkou
TR 505 až 509	1 až 15	tmelené, axiální vývody
TR 616 až 620	10 až 100	tmelené, sponkové vývody
TR 626 až 630	10 až 100	tmelené s odbočkami
TR 520 až 524	1 až 8	tmelené, axiální vývody
TR 621 až 624	6 až 15	regulační
WK 669 30 až 32	3 až 10	tmelené s tepelnou pojistkou
WK 669 44 až 46	3 až 10	tmelené s tepelnou pojistkou

Tab. 3. Polovodičové odpory

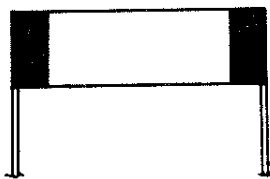
Typ	Jmenovité zatížení [W]	Popis
WK 681 41 až 44	0,5 až 1	napětově závislé odpory – varistory
WK 650 36 až 38 WK 650 49	0,03 až 1	plošné fotoodpory
WK 650 60 a 61	0,05	plošné odpory napařované



Obr. 3. Charakteristika variátoru



Obr. 4. Perlečkový termistor



Obr. 5. Tyčinkový termistor

#### Speciální odpory

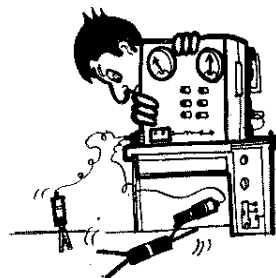
Variátory – jsou to odpory z tenkého železného drátu, který je umístěn ve skleněné baňce s vodíkovou atmosférou. Používají se jako levné stabilizátory proudu pro zatížení s kolísajícím napětím. Kolísá-li napětí  $U$  o  $\Delta U$ , bude proud  $I$  kolísat o  $\Delta I$  podle obr. 3. Tyto odpory se používají u nových konstrukcích již velmi málo.

Termistor – je teplotně závislý odpor, který se vyznačuje mimořádně velkým záporným teplotním činitelem (asi 3 %). V perlečkovém provedení (obr. 4) slouží k indikaci nebo měření teplot, v tyčinkovém provedení (obr. 5) jako ochranný odpor pro zmenšení proudového nárazu např. ve žhavicím obvodu elektronek v sériovém zapojení. Žhavicí vlákna elektronek mají za studena asi pětkrát menší odpor než při provozu. Při zapnutí je tedy nebezpečí, že některé části vláken s menším odvodem tepla by se mohly velkým proudem přetavit. Tento jev lze dobře pozorovat při zapnutí přijímače, kdy uvedené části vláken na okamžik silně zazáří. Termistor klade protékajícímu proudu nejprve velký odpor, odpor se po zahřátí termistoru zmenší na zlomek původní velikosti; tím jsou žhavicí vlákna chráněna proti přetížení a doba jejich života se značně prodlouží.

#### Potenciometry

Vrstvové potenciometry se vyrábějí pro jmenovitá zatížení 0,05 W až 2 W. Používají se v různých obvodech sdělovací techniky, zvláště pro regulaci napětí. Podle provedení jsou jednoduché, dvojité, tandemové, trimry, knoflíkové a zvláštní. Podle průběhu odporové dráhy známe potenciometry lineární (N), lineárně speciální (NS), logaritmické (G a B), exponenciální (E—C), logaritmické s odbočkou v 1/3 úhlu otáčení (Y), lineární s odbočkou ve 2/3 úhlu otáčení (F). Potenciometry lze dále dělit podle druhů spínače – bez spínače, se spínačem do napětí 250 V, se spínačem do napětí 24 V, podle délky a zakončení hřídele (A – běžně zakončené, B – seříznutý konec, E – se zářezem pro šroubovák atd.), a podle jmenovitého odporu (tab. 4).

Drátové potenciometry mají lineární průběh a používají se v elektronických zařízeních. Podle provedení jsou těsné a netěsné; dále se dělí podle délky a



Tab. 4. Vrstvové potenciometry

Typ	Jmenovité zatížení [W]	Popis
TP 180a a 181a	0,1 až 0,25	se spínačem, Ø 18 mm
TP 190	0,1 až 0,2	bez spínače, Ø 19 mm
TP 280n/F	0,5	s odbočkou, Ø 28 mm
TP 280b/F	0,5	
TP 280b a 281b	0,25 až 0,5	bez i se spínačem, Ø 28 mm
TP 280n a 281n	0,25 až 0,5	
TP 286b a 287b	0,25 až 0,5	dvojitě, Ø 28 mm
TP 283b a 283n	0,25 až 0,5	tandemové, Ø 28 mm
TP 170, 210, 219	0,1 až 0,25	knoflíkové, Ø 17 a 22 mm
TP 320	0,05	knoflíkové, Ø 32 mm
TP 015 až 018	0,5	odporové trimry
TP 110 až 113	0,3	odporové trimry
TP 040 a 041	0,2	odporové trimry
TP 011 a 012	0,5	odporové trimry
TP 060 až 062	1	odporové trimry
WN 790 10, TP 008	0,05	odporové trimry
TP 095	0,35	cermetový trimr v kulatém pouzdru o Ø 9,5 mm
TP 052	0,5	keramické
TP 195	1	cermetový, Ø 19 mm
TP 052c	0,5	cermetový, Ø 16 mm
TP 160 a 161	0,08 až 0,15	bez i se spínačem, Ø 16 mm
TP 280c	1	keramický, Ø 28 mm

zakončení hřídele a podle jmenovitého odporu (tab. 5).

#### Barevné značení odporů

Řekli jsme si, že údaj odporu je vždy vyznačen na povrchu odporového tě-

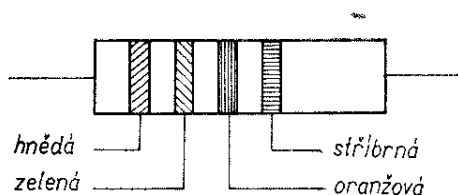


Tab. 5. Typy drátových potenciometrů

Typ	Jmenovité zatížení [W]	Popis
TP 680	0,5	kryt z izolantu
TP 680a	0,5	speciální, kryt z izolantu
WN 691 70	2	kryt z izolantu
WN 690 50	3	kryt z izolantu
WN 690 10	5	nosná část z izolantu
WN 691 85	2	těsný

líška. U miniaturních odporů, u nichž je vytištěný údaj často špatně čitelný, používáme mezinárodní barevné značení. U odporů válcovitého tvaru, které se označují zpravidla barevnými proužky po obvodu, je první proužek blíže k okraji tělesa součástky. Základní jednotkou pro barevné kódování odporů je 1  $\Omega$ . Příklad označení odporu 15 k $\Omega$  s dovolenou úchylkou  $\pm 10\%$  je na obr. 6. Přehled a význam jednotlivých proužků a barev je v tab. 15.

Co třeba říci na závěr o odporech: v některých případech potřebujeme přesný odpor (na trhu obvykle není běžně k dostání) – můžeme si vypomoci dobroušením odporů (pilujeme trojhranným pilníkem drážku po obvodu tělíška), to však můžeme dělat pouze u vrstevných odporů (uhlíkových). Při navrhování konstrukcí, v nichž jsou použity odpory a u nichž vyžadujeme určité speciální vlastnosti, je vhodné si opatřit katalog „Součástky pro elektroniku“, který vydal n. p. TESLA Lanškroun (poslední vydání 1972—1973).



Obr. 6. Barevné značení odporů

## Kondenzátory

Kondenzátor je tvořen dvěma kovovými deskami (tzv. elektrodami), oddělenými od sebe tenkou vrstvou izolantu (např. papírem, slídou, sklem nebo vzduchem). Této izolační vrstvě říkáme dielektrikum. U kondenzátorů bývá většinou dielektrikem papír impregnovaný olejem; kovové elektrody jsou vytvořeny dvěma pásky (tzv. polepy) tenké hliníkové fólie. Pásky impregnovaného papíru spolu s pásky hliníkové fólie jsou pak stočeny do svitku a uloženy do krytu.

Ve sdělovací technice používáme i kondenzátory s dielektrikem vzduchovým, slídovým, keramickým nebo kondenzátory elektrolytické, v nichž jednou elektrodou je vodivá kapalina (elektrolyt) a dielektrikem je tenká vrstva kyslíčnicku, tvořící se elektrochemickými pochody na hliníkové elektrodě.

Připojíme-li vývody kondenzátoru ke zdroji stejnosměrného elektrického napětí, nabije se jedna z elektrod kladně a druhá záporně. Při zapojení vznikne velký nabíjecí proud a dosud „prázdný“ kondenzátor se začne nabíjet. Tím se jeho napětí zvětšuje, postupně se vyrovnává rozdíl napětí elektrod a napětí zdroje, nabíjecí proud se zmenšuje. Když se napětí na kondenzátoru vyrovná napětí zdroje, je kondenzátor plně nabit, má plný elektrický náboj a nabíjecí proud zcela ustane. Ideální kondenzátor si ponechá svůj náboj (napětí), i když jej odpojíme od zdroje, z něhož byl nabit. Ve skutečnosti se však napětí na kondenzátoru zmenšuje, protože izolant dielektrika není dokonalý, nemá nekonečný izolační odpor a kondenzátor se velmi pomalu vybíjí přes vlastní dielektrikum.

Kondenzátor se nabíjí velmi rychle, třeba během jedné tisícin vteřiny (v závislosti na kapacitě atd.). Nabíjecí dobu můžeme však libovolně prodloužit tím, že nabíjecí proud zmenšujeme např. odporem vloženým do nabíjecího obvodu.

O tom, jak velký náboj pojme kondenzátor při určitém napětí, rozhoduje jeho „jímavost“, kapacita. Kondenzátor s větší kapacitou pojme při stejném

napětí větší elektrický náboj, než kondenzátor s malou kapacitou. Kapacitu označujeme písmenem  $C$  a měříme ji v jednotkách, kterým říkáme farady a značíme F. Kondenzátor, který by se nabil proudem 1 A na napětí 1 V za 1 s, by měl kapacitu 1 F. To je ovšem velmi velká kapacita a proto používáme v elektrotechnice jednotky milionkrát menší, tzv. mikrofary (značíme  $\mu\text{F}$ ). Pro kondenzátory ve vf obvodech např. v rozhlasových a televizních přijímačích je i tato jednotka příliš velká, proto je zavedena jednotka milionkrát menší než  $\mu\text{F}$  – pikofarad, označovaný pF; tisíce pF označujeme nF (1 000 pF = 1 nF).

Na každém kondenzátoru bývají označeny potřebné údaje pro jeho používání. Je to především kapacita kondenzátoru. Ta bývá na kondenzátorech vytištěna číslem s připojením jednotky např. 100 pF, 10 nF, 0,1  $\mu\text{F}$  atd. Dále je zde označeno napětí, např. 1 500 V – znamená to, že na kondenzátor může být přiloženo stejnosměrné napětí 1 500 V. Chceme-li určit, jak velké střídavé napětí lze na kondenzátory přiložit bez jeho poškození, postupujeme takto: jak víme, jako střídavé napětí se uvádí obvykle efektivní hodnota, špičková hodnota efektivního napětí je  $U_{\text{ef}} \sqrt{2} = 1,41 U_{\text{ef}}$ . Kdybychom tedy na kondenzátor, určený pro stejnosměrné napětí 1 500 V, přivedli střídavé napětí 1 500 V (efektivní hodnota), bylo by na jeho vývodech napětí  $U_{\text{max}} = 1,41 \cdot 1 500 = 2 121 \text{ V}$ ; kondenzátor by se „spolehlivě“ prorazil. V praxi platí jednoduché pravidlo: kondenzátory nezatažujeme střídavým napětím větším, než je 1/3 označeného zkušebního napětí (při síťovém napětí 220 V používáme tedy kondenzátory nejméně na 600 V, raději však na 1 000 V).

U elektrolytických kondenzátorů bývá udáno tzv. provozní napětí, které nesmí být překročeno, neboť by se kondenzátor probil a tak zničil.

Kapacita kondenzátoru je vždy vytištěna na jeho povrchu. Při běžné výrobě není možno vyrobit kondenzátory s přesnými kapacitami, ani udávat skutečnou

kapacitu na každém kondenzátoru zvlášť (bylo by třeba každý zvlášť měřit). Proto se uvádějí výrobní tolerance (elektrolytické kondenzátory mají tolerance  $-10$  až  $+100 \%$ , papírové kondenzátory 5 až 50 % atd.).

### Řazení kondenzátorů

Kondenzátory můžeme řadit dvojím způsobem:

- za sebou, sériově,
- vedle sebe, paralelně.

Při sériovém zapojení je spojen konec předchozího kondenzátoru s počátkem kondenzátoru následujícího (obr. 7); výsledná kapacita

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_x},$$

slovně převratná hodnota výsledné kapacity se rovná součtu převratných hodnot dílčích kapacit.

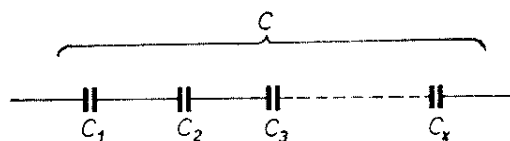
Paralelní zapojení je na obr. 8, výsledná kapacita je součtem dílčích kapacit

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_x.$$

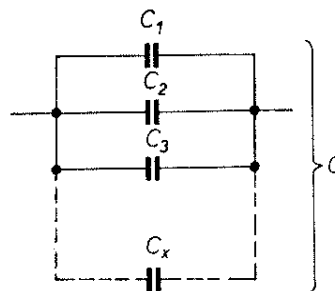
### Rozdělení elektrolytických kondenzátorů

Elektrolytické kondenzátory mají široké použití v elektronických zařízeních. Od jiných, běžně používaných kondenzátorů se liší konstrukcí a technologií výroby. Kondenzátory se dělí podle nejvyšší přípustného zbytkového proudu, podle provedení, podle kapacity a jmenovitého napětí.

Rozběhové elektrolytické kondenzátory jsou určeny do pomocné fáze k roz-



Obr. 7. Řazení kondenzátorů do série



Obr. 8. Řazení kondenzátorů paralelně

Tab. 6. Typy elektrolytických kondenzátorů

Typ	Jmenovitá kapacita [ $\mu$ F]	Popis
TC 962 až 969	0,5 až 200	miniaturní v Al pouzdrech
TE 980 až 993	0,5 až 2 000	
TC 972 až 979	0,5 až 200	s větším rozsahem provozních teplot – miniaturní
TE 962 až 968	20 až 1 000	pro malé teploty
TE 969 až 974	10 až 50	
TE 912	10	
TE 002 až 006	2 až 200	miniaturní s jednostran. vývody
TC 934 až 939	200 až 10 000	válcové, na malá napětí
TC 530a až 536a	10 až 1 000 10 + 10 a 100 + 100	s pájecími očky v Al pouzdrech
TC 515a až 521a	20 až 200 10 + 10 a 100 + 100	s patcovým šroubem v Al pouzdrech
TC 445 a 446 TC 447 01 až 06 TC 448	50—200, 20 + 20 a 100 + 100 20—20/100 a 50/100/100 50/100/200	vícenásobné pro plošné spoje
WK 704 22a WK 704 23a	20/20/100 a 40/60/100	pro plošné spoje v Al pouzdrech
TC 544	40 až 120	rozběhové v Al pouzdrech
TC 546—547	25 až 320	
TC 509, 589	250 až 500	výbojkové v Al pouzdrech
TE 151 až 158	5 až 80	tantalové ve stříbrných pouzdrech
TE 901 až 905	1 až 10	hliníkové – tuhé

běhu asynchronních motorů pro střídavý proud 150 V, 220 V a 320 V (50 Hz).

Výbojkové kondenzátory jsou určeny k napájení výbojek zábleskových zařízení pro fotografické účely.

Tantalové vynikají malými rozměry a velkou provozní spolehlivostí.

Přehled typů elektrolytických kondenzátorů je v tab. 6.

#### *Některé vlastnosti elektrolytických kondenzátorů*

Ztrátový činitel elektrolytických kondenzátorů je závislý na teplotě okolí, na kmitočtu a na velikosti jmenovitého napětí. Typické ztrátové činitele elektrolytických kondenzátorů při teplotě  $+20^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ) udává tab. 7.

Tab. 7. Ztrátový činitel elektrolytických kondenzátorů

Jmenovité napětí [V]	Ztrátový činitel tg $\sigma$	
	při kmitočtu 50 Hz	při kmitočtu 100 Hz
do 4	0,30	0,45
4 až 63	0,25	0,35
63 až 160	0,20	0,25
160 až 500	0,15	0,20

Při přiložení stejnosměrného napětí protéká elektrolytickým kondenzátorem trvalý omezený proud, tzv. zbytkový proud. Zbytkový proud s pomocí přítomného elektrolytu zajišťuje nezávadný stav dielektrické oxidové vrstvy. Velikost zbytkového proudu je měřítkem kvality elektrolytického kondenzátoru (typ 1 a 2 v tab. 8).

Elektrolytické kondenzátory lze trvale připojit na plné jmenovité napětí. Přitom však lze ještě kondenzátory v určitých intervalech zatížit na krátkou

Tab. 8. Zbytkový proud v závislosti na kapacitě a na jmenovitém napětí

Součin $CU$	Maximální zbytkový proud	
	typ 1	typ 2
$\leq 1\,000$	0,05 $CU$ nebo 5 $\mu A$ *)	0,1 $CU$ + 300 $\mu A$ , max. 10 mA
$> 1\,000$	0,03 $CU$ + 20 $\mu A$	

\*) Podle toho, která hodnota je vyšší,  $CU$  je jmenovitá kapacita, násobená jmenovitým napětím.

Tab. 9. Zatížitelnost elektrolytických kondenzátorů

Jmenovité napětí $U_j$ [V]	Špičkové napětí [V]
do 12	1,25 $U_j$
12 až 30	1,20 $U_j$
30 až 160	1,15 $U_j$
160	1,10 $U_j$

dobu (30 vteřin až 1 min.) tzv. špičkovým napětím, jehož největší velikost

v závislosti na jmenovitém napětí je uvedena v tab. 9.

Provozní stejnosměrné napětí může mít střídavou složku, jejíž velikost je závislá na maximálním dovoleném střídavém proudu. Vrcholové napětí (součet napětí stejnosměrného a střídavého) nesmí být větší než jmenovité napětí kondenzátorů a stejnosměrné napětí musí být alespoň rovno špičkové velikosti střídavé složky.

#### Papírové kondenzátory

Kondenzátory z metalizovaného papíru (MP) se vyznačují regenerační schopností, tzn. že při jejich průrazu nedojde k trvalému zkratu – kondenzátor je po průrazu schopen dalšího provozu. Ve srovnání s běžnými papírovými kondenzátory mají kondenzátory MP menší rozměry a menší váhu. Používají se ve všech oblastech elektrotechniky.

Kondenzátory z metalizovaného papíru jsou určeny i pro provoz v obvodech se střídavým proudem s kmitočtem 50 Hz. Používají se zvláště v osvětlovací technice ke zlepšení účinku zářivkových svítidel a k zapojení do pomocné fáze jednofázových motorů. Mohou být trvale připojeny na jmenovité napětí v celém rozsahu provozních teplot.

Běžné kondenzátory s papírovým dielektrikem jsou určeny pro všeobecné použití ve všech oblastech elektroniky (tab. 10).

#### Slídové kondenzátory

Slídové kondenzátory jsou vhodné do vysokofrekvenčních obvodů, zvláště oscilačních, kde se vyžadují malé ztráty, velký izolační odpor a malý teplotní činitel. Používají se všude tam, kde se vyžaduje stabilita elektrických parametrů, odolnost proti klimatickým vlivům při provozu ve vysokofrekvenčních obvodech (tab. 11).

#### Kondenzátory s dielektrikem z plastických hmot

V elektronice jsou tyto kondenzátory určeny pro všeobecné použití. Do této skupiny kondenzátorů patří kondenzátory polystyrenové a terylenové, zalité epoxidovou pryskyřicí. Přehled vyráběných typů je v tab. 12.

Tab. 10. Typy papírových kondenzátorů

Typ	Jmenovitá kapacita [ $\mu$ F]	Popis
TC 451 až 461	0,1 až 1 $2 \times 0,1$ a $2 \times 0,5$	MP krabicové těsné
TC 471 až 487	0,1 až 8 $2 \times 0,1$ a $2 \times 4$	
TC 651 až 669	2 až 64 $2 \times 1$ a $2 \times 32$	
WK 710 52 až 61	0,5 až 4 $2 \times 0,5$ a $2 \times 1$	MP krabicové speciální
TC 180 až 185	1 000 pF až 2	MP zastříknuté válcové
TC 682 a 682a TC 684 a 684a	0,5 až 25	MP pro střídavý proud s bezpečnostní pojistkou
TC 644 a 644U TC 674 a 674U	3,5 až 4	
TC 690 až 693	0,5 až 25	MP motorové s bezpečnostní pojistkou
WK 709 66 a 67	16 až 20	MP motorové
TC 171 až 175	100 pF až 1	s papírovým dielektrikem zastříknuté válcové
TC 191 až 195	1 000 pF až 0,47	s papírovým dielektrikem epoxidové
WK 720 02 až 55	0,05 až 8	s papírovým dielektrikem vysokonapěťové
TC 620 až 625	1 000 pF až 0,25	s papírovým dielektrikem vysokonapěťové v izolo- vaných pouzdrech
WK 717 28	0,25	s papírovým dielektrikem těsné – pro zapalování

Tab. 11. Typy slidových kondenzátorů

Typ	Jmenovitá kapacita [pF]	Popis
TC 210 až 222	4,7 až 10 000	slidové zalisované
WK 714 50 a 51	1 000 až 39 000	slidové stabilní
WK 714 07 až 32 TC 202	4,7 až 5 100	slidové deskové
WK 714 11 WK 714 13	10 až 1 000	miniaturní

Tab. 12. Kondenzátory s dielektrikem z plastických hmot

Typ	Jmenovitá kapacita	Popis
TC 281 až 284	10 pF až 22 000 pF	polystyrenové
TC 286 až 289	10 pF až 10 000 pF	vysokonapěťové polystyrenové
WK 716 01 a 02	266 pF až 0,2 $\mu$ F	přesné polystyrenové pro plošné spoje
TC 296 a 297	0,056 $\mu$ F až 5 $\mu$ F	přesné a stabilní polystyrenové
WK 716 20 až 22	0,5 $\mu$ F až 5 $\mu$ F	přesné polystyrenové nastavitelné
TC 292 až 294	5 000 pF až 1 $\mu$ F	přesné polystyrenové
TC 276 až 278	100 pF až 0,22 $\mu$ F	válcové terylenové
TC 279 a 280	10 000 pF až 1 $\mu$ F	terylenové

#### *Dolaďovací a otočné kondenzátory*

Používají se hlavně k ladění vysokofrekvenčních obvodů. Pro některé účely se používají dvojité proměnné kondenzátory, tzv. duály. Oba kondenzátory mívají buď přesně shodný průběh kapacity, nebo průběh odlišný, u obou kondenzátorů však přesně stanovený (tab. 13 a 14).

#### *Odrušovací kondenzátory*

Používají se k ochraně radiokomunikační před nežádoucím vysokofrekvenčním rušením. Odrušovací kondenzátory a tlumivky se také používají v automobi-

lovém průmyslu k odrušení nežádoucích signálů. Tabulka těchto kondenzátorů není uvedena, neboť se na trhu vyskytují jen zřídka.

#### *Keramické kondenzátory*

Kondenzátory typu 1. Sem patří kondenzátory s definovaným teplotním součinitelem kapacity, malými ztrátami a velkou stálostí kapacity. Používají se ve stabilních vf obvodech, především v obvodech rezonančních. Teplotní závislost kapacity kondenzátoru volíme podle potřeby. Kondenzátory se vyrábějí v rozsahu kapacit od 0,47 pF do

Tab. 13. Dolaďovací kondenzátory a indukčnosti

Typ	Maximální kapacita [pF]	Jmenovité stejnosměrné napětí [V]	Popis
WK 701 04 až 11	5 až 14	400	skleněný speciální dolaďovací kondenzátor
WK 701 20	1	250	skleněný dolaďovací kondenzátor
WK 050 04	max. variace indukčnosti při 85 MHz $3 \cdot 10^{-3} \mu$ H	elektrická pevnost 800	dolaďovací indukčnost
WK 701 22 až 26	4,5	400	skleněný dolaďovací kondenzátor

Tab. 14. Otočné kondenzátory

Typ	Popis
WN 704 05	dvojité otočné kondenzátory pro AM - FM
WN 704 14	195 pF + 21,8 pF
WN 704 07	otočný kondenzátor dvojitý 150 pF + 64 pF
WN 704 11	otočný kondenzátor dvojitý 12,5 pF + 12,5 pF
WN 704 13	otočný kondenzátor čtyřnásobný 2 × 270 pF + 2 × 22,5 pF
WN 704 15	otočný kondenzátor dvojitý v pouzdře z termoplastické hmoty 2 × 194 pF

1 200 pF. Typy: TK 754; TK 774; TK 794; TK 755; TK 795.

Kondenzátory typu 2. Do této skupiny patří kondenzátory, vyrobené z materiálů s velkou permitivitou a s výraznými vlastnostmi feroelektrik, jako je např. dielektrická hystereze, závislost permitivity na gradientu přiloženého napětí a na teplotě. Kondenzátory vyrobené z těchto hmot se používají jako vazební nebo blokovací tam, kde nejsou velké nároky na stabilitu kapacity a malé ztráty. Kondenzátory se vyrábějí v rozsahu kapacit od 150 pF až 0,1  $\mu$ F. Typy: TK 724; TK 744; TK 725; TK 745.

Kondenzátory typu 3. Jsou určeny zejména jako blokovací, vazební a filtrační. Kondenzátory se vyrábějí v rozsahu kapacit od 4 700 pF do 0,15  $\mu$ F. Typy: TK 782; TK 783.

Podle tvaru dielektrika a konečného provedení dělíme keramické kondenzátory do těchto skupin:

ploché pravoúhlé miniaturní kondenzátory,  
diskové kondenzátory,  
trubkové kondenzátory,  
speciální kondenzátory,  
doladovací kondenzátory.

V běžném provedení je horní hranici teplotního rozsahu, při níž lze používat

tyto kondenzátory, teplota +85 °C, u některých až +100 °C. Dolní hranice teploty je u typu 1 —40 °C, u některých typů až —65 °C. U typu 2 se však při snížení teploty značně zmenšuje kapacita a zvětšuje se ztrátový úhel. Doporučuje se proto používat tyto kondenzátory pouze do —10 °C.

Při pájení keramických kondenzátorů nesmí teplota ve spoji vývodu s tělem kondenzátoru překročit 110 °C, krátkodobě po dobu 3 vteřin max. 125 °C. Orosení na povrchu není na závadu, je způsobeno částečným roztavením impregnačního vosku, který po ochlazení zatuhne.

Všechny typy keramických kondenzátorů lze použít pro montáž do plošných spojů.

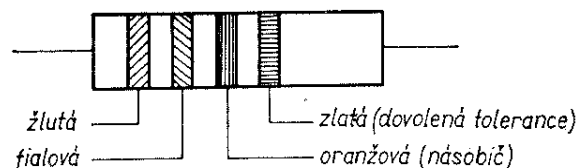
Pro zájemce, kteří budou ve větší míře používat keramické kondenzátory, doporučujeme obstarat si katalog výrobce (TESLA Hradec Králové) nebo velmi dobře zpracované články ing. Retíka a ing. Huška, uvedené v AR 8/73 až AR 10/73 pod názvem „Keramické kondenzátory“.

#### Barevné značení kondenzátorů

U kondenzátorů válcovitého tvaru se kapacita značí zpravidla proužky po obvodu, první kroužek je blíže k okraji tělesa součástky. U elektrolytických kondenzátorů se tento první proužek kromě toho umístí blíže záporného pólu a u ostatních kondenzátorů blíže vývodů vnější fólie.

Příklad označení kondenzátoru 47 000 pF s dovolenou úchylnou  $\pm 5\%$  je na obr. 9.

Základní jednotkou pro barevné kódování kapacit elektrolytických kondenzátorů je 1  $\mu$ F, u ostatních kondenzátorů 1 pF (tab. 15).



Obr. 9. Barevné značení kondenzátorů

Tab. 15. Barevné značení odporů a kondenzátorů

Barva	Odpor nebo kondenzátor		Dovolená úchylna
	Číslice	Násobitel	
	Číselné vyjádření odporu nebo kapacity		
Černá	0	1	$\pm 20 \text{ \% } ^*)$
Hnědá	1	10	$\pm 1 \text{ \% }$
Červená	2	$10^2$	$\pm 2 \text{ \% }$
Oranžová	3	$10^3$	—
Žlutá	4	$10^4$	—
Zelená	5	$10^5$	$\pm 5 \text{ \% } ^{**})$
Modrá	6	$10^6$	—
Fialová	7	$10^7$	—
Šedá	8	$10^8$	—
Bílá	9	$10^9$	$\pm 10 \text{ \% } ^{**})$
Stříbrná	—	$10^{-2}$	$\pm 10 \text{ \% }$
Zlatá	—	$10^{-1}$	$\pm 5 \text{ \% }$
Bez barvy	—	—	$\pm 20 \text{ \% } ^*)$

\*) Úchylka  $\pm 20 \%$  se nevyznačuje, pokud je u daného typu odporu nebo kondenzátoru nejširší.

\*\*\*) U nových výrobků se pro označování úchylek nepoužívá zelená a bílá barva.

### Cívky

Cívkami získáváme potřebnou indukčnost pro laděné obvody. Konstrukční údaje k sestavení cívek, pokud jde o jejich indukčnost: s počtem závitů rostou ztráty v cívce; železné jádro působí další ztráty vířivými proudy, vznikajícími v železe. Velký průměr cívky znamená sice menší počet závitů (pro tutéž indukčnost) a tím úsporu drátu, ale velká cívka zabírá příliš mnoho místa a tím se musí při konstrukcích obvykle šetřit. Kromě toho má velká cívka velké magnetické rozptylové pole, které působí na sousední součástky.

Pokud jde o tvar průřezu cívky, je nejvýhodnější průřez kruhový, neboť má při stejné ploše nejmenší obvod (je tedy menší jednak spotřeba drátu a jednak činný odpor cívky, který znamená opět ztráty a zhoršení jakosti cívky). Je-li kostra cívky, na níž jsou navinuty závity, ze špatného izolantu, jsou vzniklé ztráty poměrně značné. Ke ztrátám dochází i vlivem vlastní kapacity cívky. Je to kapacita mezi závity a především kapacita mezi vrstvami vinutí u cívek s větším počtem závitů. Tato kapacita se paralelně přiřazuje ke kapacitě ladicího kondenzátoru a zmenšuje zesílení signálů vyšších kmitočtů. Při výrobě cívky závisí výsledek tedy na materiálu, z něhož se cívky vyrábějí (vodič a kostra cívky) a na způsobu vinutí cívky. Cívky pro radioamatérskou práci jsou dvojího druhu:

- jednovrstvové,
- několikavrstvové.

Jednovrstvové cívky se používají v laděných obvodech pro krátké vlny, neboť v těchto obvodech potřebujeme obvykle malé indukčnosti, počet závitů je tedy malý. Obvykle se tyto cívky vinou z měděného lakovaného vodiče nebo z měděného vodiče, opředěného hedvábím (o průměrech 0,5 až 1 mm i více). Při větším průměru vinutí (nad 2 mm) se obvykle používá holý drát. Jsou to pak cívky bez kostry, tzv. cívky samonosné. Potřebnou indukčnost cívky vypočítáme z upraveného Thomsonova vzorce

$$L = 25\,330/f^2C,$$

kde  $L$  je hledaná indukčnost [ $\mu\text{H}$ ],  
 $f$  přijímaný kmitočet [ $\text{MHz}$ ],  
 $C$  kapacita ladicího kondenzátoru [ $\text{pF}$ ].

Dnes se však používají nejvíce cívky se železovým nebo feritovým jádrem. Jádrem lze měnit indukčnost v mezích asi 5 až 10 %. Vsouváním jádra se indukčnost zvětšuje, vysouváním zmenšuje.

Několikavrstvové cívky, tzn. cívky s několika vrstvami závitů na sobě, se používají pro laděné obvody k příjmu středních a dlouhých vln, pro mezifrekvenční filtry a vysokofrekvenční tlumivky. Nejvíce se používají cívky s tzv. křížovým vinutím. Závity vineme kli-



katě na kostře cívky tak, že následující závit je posunut před nebo za předchozí závit a ponechává se mezi nimi mezera asi v tloušťce drátu. Závity se vzájemně křížují a dotýkají se pouze v místech křížení a nikoli v celých plochách (jako při válcovém vinutí závit vedle závitu). Tím se zmenší vlastní kapacita cívky.

Jiným způsobem vinutí je tzv. divoké vinutí. Závity se vinou v podstatě stejně jako u křížového vinutí, avšak neuspořádaně, nepravidelně.

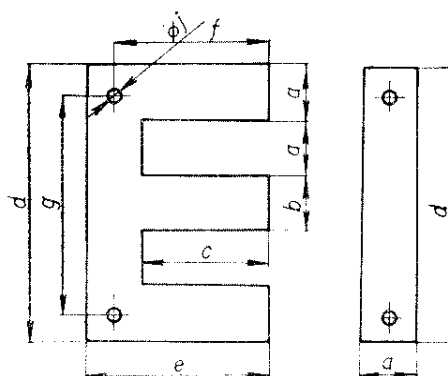
Vysokofrekvenční tlumivky jsou v podstatě cívky s velkým počtem závitů, které používáme pro laděné obvody. Slouží hlavně k zabránění průchodu signálu o určitém kmitočtu, např. signálu vysokého kmitočtu u zpětné vazby.

V amatérské praxi se často setkáváme při stavbě tranzistorového přijímače s cívkami navinutými na feritové tyčce. Cívky tohoto druhu se navíjejí tak, aby co nejtěsněji obepínaly feritovou tyčku, aby se však s nimi mohlo po tyčce snadno pohybovat. Středovlnné cívky jsou jednovrstvové, závit vedle závitu těsně vedle sebe. Ladicí vinutí mívá kolem 70 závitů (někdy i více), vazební vinutí pro připojení k bázi tranzistoru např. 5 až 8 závitů.

### Tlumivky

Tlumivky se železným jádrem používáme v obvodech napětí nízkých kmitočtů, v nichž potřebujeme velké indukčnosti. V radiotechnice používáme velmi často tlumivky, jimiž protéká kromě střídavého proudu (někdy mnohem větší) i proud stejnosměrný. Tento stejnosměrný proud vytvoří v jádru stejnosměrné magnetické pole a na něm je přiloženo (superponováno) pole střídavé. Tu se může stát, že stejnosměrná magnetizace nasytí jádro tak, že malé změny proudu nevyvolají už žádné změny magnetického toku a indukčnost daná poměrem velikostí obou polí je pak skoro nulová.

Chceme-li, aby indukčnost tlumivky byla nezávislá na napětí, volíme vzduchovou mezeru dosti velkou, neboť magnetický odpor mezery je velký a rozhoduje permeabilita vzduchu, která je stá-



Obr. 10. Transformátorové plechy EI

lá. Podle toho, jaký proud tlumivkou prochází a jaký je tvar železného jádra, mohou být tlumivky rozděleny takto:

- a) se střídavou magnetizací jádra,
- b) se stejnosměrnou a střídavou magnetizací jádra.

Tyto tlumivky můžeme dále dělit podle použitého jádra:

1. Bez vzduchové mezery,
2. S malou vzduchovou mezerou,
3. S velkou vzduchovou mezerou.

Jádra tlumivek se vyrábějí ze speciálního železného plechu (pod označením jakosti materiálu podle ČSN 42 5305 – Et 1,6 – při tloušťkách 0,35 a 0,5 mm), který má dobré magnetické vlastnosti. Plechy se skládají na sebe. Nejpoužívanější tvar plechů je tvar E a I (obr. 10).

Je-li potřebná vzduchová mezer, je možné ji přesně nastavit vkládáním magnetického materiálu (např. papíru) do mezery. Avšak pozor – poněvadž silové křivky procházejí mezerou dvakrát, musí být její skutečná šířka poloviční, než vypočtená.

Protože vyrobená tlumivka má nejen indukčnost, ale i odpor a také kapacitu, jsou kombinované obvody v činnosti zpravidla mnohem složitější než v teorii, kde těchto nevídaných veličin obvykle nedbáme. To je jednou z příčin, pro něž se tlumivkám v konstrukcích přijímačů vyhýbáme.

Typizovaná řada filtračních tlumivek je v tab. 16. Počet závitů a rozměry filtračních tlumivek jsou v tab. 17 a obr. 10.



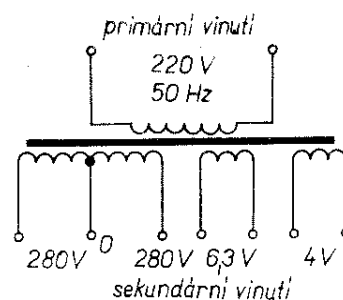
Tab. 16. Typizované filtrační tlumivky

Typové označení	Jádro EI [mm]	Indukčnost [H]	Proud [mA]	Odpor [ $\Omega$ ]
9 WN 650 10	16 × 16	5	67	200
9 WN 651 11	16 × 16	6	80	200
9 WN 651 12	20 × 20	6	100	150
9 WN 651 13	20 × 20	4	125	140
9 WN 651 14	25 × 25	4	150	120

### Transformátory

V radiotechnice je transformátor z nejčastějších součástek. Známe transformátory síťové, nízkofrekvenční, výstupní a autotransformátory. Transformátor je tvořen převážně dvěma cívkami. Protéká-li jednou z nich střídavý proud, vznikne v ní a okolo ní magnetické pole. Je-li druhá cívka dostatečně blízko, indukuje se v ní napětí. Říkáme, že do prvního vinutí (primárního) energie vstupuje, z druhého vinutí (sekundárního) ji odebíráme. Přitom však nejsou tato dvě vinutí přímo (neboli galvanicky) spojena, jsou spojena pouze společným magnetickým polem.

Nejvíce používaný transformátor v radiotechnice je síťový transformátor. Používáme ho k získávání různých potřebných napětí pro napájení různých obvodů ze sítě střídavého proudu. Pracuje zpravidla na tzv. průmyslovém kmitočtu, tzn. 50 Hz. V běžné radioamatérské praxi často potřebujeme zhotovit transformátor, který by splňoval naše požadavky – proto si uvedeme, jak síťový transformátor navrhnout.



Obr. 11. Schéma transformátoru k příkladu výpočtu

**Příklad výpočtu transformátoru:** máme navrhnout transformátor (obr. 11) pro následující napětí a proud (pro snazší výpočet a přehlednost jsou údaje, potřebné k výpočtu, v tab. 18).

Primární napětí: 220 V, 50 Hz.

Sekundární napětí: 2 × 280 V/0,1 A,  
6,3 V/2 A,  
4 V/1 A.

1. Volba velikosti jádra.

Sekundární výkon  $N_s = 280 \times 0,1 + 6,3 \times 2 + 4 \times 1 \doteq 45$  W,  
 $N_p = 1/\eta (N_s) = 1,25 \times 45 \doteq 56$  W.

Příkon (při účinnosti  $\eta = 80 \%$ ) bude tedy 56 W.

Z tabulky zvolíme vhodný typ jádra. V našem případě se rozhodneme pro EI32 o výšce svazku 25 mm. Toto jádro je použitelné pro výkony do 60 W. Plechy budou skládány střídavě bez vzduchové mezery.

2. Stanovení počtu závitů a průměru drátu.

Podle tab. 18 nalezneme pro použité jádro počet závitů na jeden volt (6, 6z/V). Tímto údajem násobíme napětí, která mají jednotlivá vinutí dodávat

Tab. 17. Počet závitů a rozměry filtračních tlumivek

Typové označení	Počet závitů	Rozměry [mm]						
		a	b	c	e	f	g	d
9 WN 651 10	3 000	67	43	34	18,5	60	51,5	3,5
9 WN 651 11	2 800	67	43	34	18,5	60	51,5	3,5
9 WN 651 12	3 100	79	53	45	23	72	64	3,5
9 WN 651 13	2 500	79	53	45	23	72	64	3,5
9 WN 651 14	2 500	79	53	50	28	72	64	3,5

a stanovíme tak počet jejich závitů. Ztráty v transformátoru respektujeme tím, že vypočtený počet závitů primární strany zmenšíme o 2 až 5 %, zatímco počet závitů sekundárních vinutí o 2 až 5 % zvětšíme.

Primární vinutí:  $220 \times 6,6 - 3 \% = \pm 1\,450$  závitů.

Sekundární vinutí:  $2 \times 280 \times 6,6 + 3 \% = 2 \times 1\,850$  závitů,  
 $6,3 \times 6,6 + 3 \% = 42$  závitů,  
 $4 \times 6,6 + 3 \% = 26$  závitů.

Zvolíme-li proudovou hustotu např.  $2,5 \text{ A/mm}^2$ , můžeme s použitím tab. 19 určit podle proudového zatížení jednotlivých vinutí průměr  $d$  jejich vodičů.

Primární vinutí:  $56 \text{ W/220 V} = 254 \text{ mA}$ ;  $d = 0,375 \text{ mm}$ ;

sekundární vinutí:  $0,1 \text{ A} = 100 \text{ mA}$ ,  
 $d = 0,236 \text{ mm}$ ,  
 $2 \text{ A} = 2\,000 \text{ mA}$ ,  
 $d = 1,00 \text{ mm}$ ,  
 $1 \text{ A} = 1\,000 \text{ mA}$ ,  
 $d = 0,71 \text{ mm}$ .

### 3. Přibližná kontrola pravidelnosti vinutí.

Vypočteme plochu okénka potřebnou pro jednotlivá vinutí. Z tab. 19 zjistíme pro průměr drátu  $0,375 \text{ mm}$ , že na  $1 \text{ cm}^2$  plochy připadá 510 závitů. Dělíme-li tímto číslem příslušný počet závitů, dostaneme plochu vinutí  $S_1 = 1\,450 : 510 = 2,84 \text{ cm}^2$ . Stejným způsobem zjistíme plochy vinutí 2 až 4;  $S_2 = 2,96 \text{ cm}^2$ ;  $S_3 = 0,51 \text{ cm}^2$ ;  $S_4 = 0,17 \text{ cm}^2$ . Součet  $S_1 + S_2 + S_3 + S_4$  zvětšíme o 25 % (rezerva) a kontrolujeme, zda je menší, než užitečná plocha pro vinutí, uvedená v tabulce 18;  $S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = 6,48 \text{ cm}^2 + 25 \% = 8,10 \text{ cm}^2$  (tab. 19 je na 2. str. obálky).

Z tab. 18 zjistíme, že použitá kostra cívky má při vinutí s vývody po obou stranách cívky užitečnou plochu pro vinutí  $4,45 \text{ cm}^2$ . Pro transformátor nelze tedy zvolené jádro (i když výkonově vyhovuje) použít.

Musíme zvolit větší typ jádra, např. EI40, o výšce svazku  $32 \text{ mm}$  pro výkon do  $150 \text{ W}$  ( $4,12 \text{ z/V}$ ). Vypočítáme znovu počty závitů pro jednotlivá vinutí a

opakujeme kontrolu plochy pro vinutí. Po výpočtu zjistíme že  
 $S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = 4,09 + 25 \% = \pm 5,11 \text{ cm}^2$ .

Protože cívkové tělísko má užitečnou plochu pro vinutí  $7,2 \text{ cm}^2$ , lze pro transformátor navržené jádro použít.

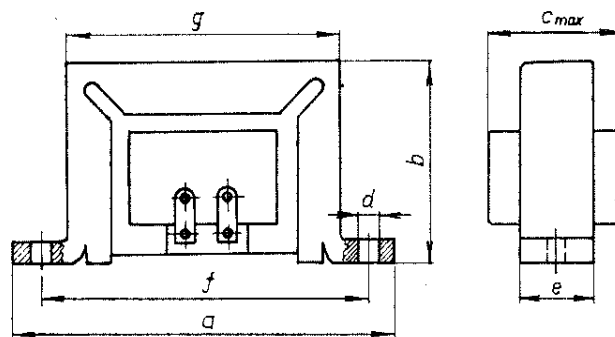
Při výpočtu můžeme ještě stanovit délku vinutí, činný odpor a váhu vinutí. Při tomto výpočtu předpokládáme pro zjednodušení pro primární vinutí plnění 50 %, pro sekundární vinutí 100 %. Dále můžeme určit váhu celého transformátoru, výpočet ztrát v železe a mědi a kontrolovat ochlazování transformátoru. V zásadě lze říci, že tyto údaje stačí k tomu, abychom mohli transformátor navrhnout.

Při výpočtech s použitím jádra typu M použijeme tab. 20.

Nízkofrekvenční transformátory se používají hlavně u nf zesilovačů třídy B, dále u velkých zesilovačů, u nichž je nebezpečí přepětí na mřížce koncové elektronky, což vede ke zkreslení signálu apod.

Výstupní transformátory jsou vyráběny pro šířku kmitočtového pásma: A – 40 Hz až 16 kHz; B – 60 Hz až 15 kHz; C – 100 Hz až 10 kHz (tab. 21, obr. 12).

Kostrы cívky transformátorů se obvykle zhotovují z tenké lepenky nebo pertinaxu, cívka má tvar hranolu se zahrnutými okraji, k nimž jsou přilepena čela. Čela musí být dosti tuhá, aby se při navíjení drátu neprohýbala a aby se proto délka cívky na okrajích vinutí neztvrdžovala. Strojně vinuté cívky bývají i bez čel. Tyto cívky bývají však zpevněny napuštěním izolačním lakem.



Obr. 12. Rozměrový náčrtek výstupního transformátoru

Tab. 18. Údaje potřebné k výpočtu síťového transformátoru

Typ plechu	Výška svazku [mm]	Počet plechů [kusů]		Vhodné pro výkon [W]	Ef. průřez železa [cm²]		Závitů na volt		Délka mg siločáry [mm]	Obvod tělíska cívky [mm]	Střední délka závitů při plnění [mm]	
		0,5 mm	0,35 mm		0,5 mm	0,35 mm	0,5 mm	0,35 mm			50 %	100 %
EI10	8	16	22	1	0,76	0,68	59,2	66,2	52	38	47	53
	10	20	28	2	0,95	0,85	47,5	53,0		42	51	57
	12,5	25	35	3	1,19	1,06	37,8	42,5		47	56	62
	16	32	45	4	1,52	1,36	29,6	33,1		54	63	69
EI12	10	20	28	3	1,14	1,02	39,4	44,0	71	46	58	66
	12,5	25	35	4	1,43	1,28	31,5	35,2		51	63	71
	16	32	45	5	1,82	1,63	24,8	27,6		58	70	78
	20	40	55	6	2,28	2,04	19,7	22,1		67	79	87
EI16	12,5	25	35	5	1,90	1,70	23,7	26,5	89	63	73	83
	16	32	45	6	2,43	2,18	18,5	20,6		70	80	90
	20	40	55	8	3,04	2,72	14,8	16,5		79	89	99
	25	50	69	10	3,80	3,40	11,85	13,3		90	100	110
EI20	16	32	45	8	3,04	2,72	14,80	16,5	111	78	91	104
	20	40	55	10	3,80	3,40	11,85	13,3		87	100	113
	25	50	69	20	4,70	4,40	9,58	10,2		98	111	124
	32	64	89	30	6,10	5,40	7,36	8,35		112	125	138
EI25	20	40	55	20	4,70	4,40	9,58	10,2	139	97,2	114	131
	25	50	69	40	5,90	5,30	7,66	8,5		108	125	142
	32	64	89	60	7,60	6,80	5,92	6,6		122	139	156
	40	80	111	80	9,50	8,50	4,74	5,3		139	156	173
EI32	25	50	69	60	7,60	6,80	5,92	6,60	178	122	145	168
	32	64	89	100	9,70	8,70	4,64	5,17		136	159	182
	40	80	111	150	12,20	10,90	3,69	4,12		153	176	199
	50	100	139	200	15,20	13,60	2,96	3,30		174	197	220
EI40	32	64	89	150	12,20	10,90	3,69	4,12	223	157	184	211
	40	80	111	200	15,20	13,60	2,96	3,30		174	201	228
	50	100	139	350	19,00	17,00	2,37	2,65		195	222	249
	64	128	178	500	24,40	21,80	1,84	2,06		224	251	278
EI50	40	80	111	350	19,00	17,00	2,37	2,65	278	194	229	264
	50	100	139	500	23,80	21,80	1,89	2,12		215	250	285
	64	128	178	800	30,20	27,20	1,48	1,65		244	279	314
	80	160	224	1 300	38,00	34,00	1,18	1,32		278	313	348
EI64	50	100	139	800	30,20	27,20	1,48	1,65	356	247	291	335
	64	128	178	1 500	39,00	34,80	1,15	1,29		276	320	364
	80	160	224	2 100	48,50	43,50	0,93	1,03		310	354	398
	100	200	278	3 200	60,80	54,40	0,74	0,83		352	396	440

Typ plechu	Délka pro vinutí [mm]			Výška pro vinutí [mm]			Plocha pro vinutí [cm²]			Váha železa	Ochla- zovací plocha
	abs.	1 ×	2 ×	abs.	Ø < 0,6 mm	Ø > 0,6 mm	abs.	1 ×	2 ×	[kg]	[cm²]
EI10	12,5	10	9	3,5	3	2,5	0,44	0,30	0,23	0,04	24
										0,05	26
										0,06	29
										0,07	33
EI12	16,5	14	13	5	4	3,5	0,82	0,56	0,46	0,07	38
										0,08	42
										0,11	46
										0,13	52
EI16	22,5	20	19	6,5	5,5	5	1,46	1,10	0,95	0,15	60
										0,19	
										0,23	73
										0,29	82
EI20	27,5	24	22	8,5	7,5	6,5	2,34	1,80	1,43	0,26	95
										0,33	104
										0,41	115
										0,53	130
EI25	34,5	30,5	28,5	10,5	9	8	3,63	2,74	2,30	0,51	148
										0,63	162
										0,82	181
										1,02	203
EI32	44,5	40,5	38,5	14,0	12,5	11,5	6,25	5,10	4,45	1,07	242
										1,37	268
										1,71	295
										2,15	330
EI40	55,5	50	48	17,25	16	15	9,55	8,00	7,2	2,07	381
										2,54	416
										3,22	460
										4,14	520
EI50	70,0	65,5	63,5	22	20,05	19,5	15,4	13,3	12,4	4,10	595
										5,06	650
										6,52	727
										8,16	815
EI64	91,0	85	83,0	28	26	25	25,4	21,1	20,7	8,35	966
										11,10	1 065
										13,85	1 176
										17,25	1 318

Tab. 20. Údaje k výpočtu transformátorů s jádrem M

Typ plechu	Výška svazku [mm]	Počet plechů kusů		Vhodné pro výkon [W]	Ef. průřez železa [cm²]		Závitů na volt		Délka mg siločáry [mm]	Obvod tělíska cívky [mm]	Střední délka závitů při plnění [mm]	
		0,5 mm	0,35 mm		0,5 mm	0,35 mm	0,5 mm	0,35 mm			50 %	100 %
M5	4,5	45	90	0,2	0,21	0,19	214	237	52	25	30	35
M7	6,5	64	128	0,5	0,41	0,37	110	121	66	37	43,5	50
	10,0	95	189	1	0,63	0,56	71,5	80,3		44	50,5	57,0
M12	14,5	29	40	5	1,69	1,48	26,6	30,4	102	66	77	88
M17	19,5	39	54	15	3,21	2,82	14,0	15,9	130	88	101	114,5
M20	26,5	53	73	25	5,15	4,50	8,7	10,0	154	107	122,5	138
M23	31,5	63	87	50	7,00	6,15	6,4	7,3	172	124	143	162
M29	32,0	64	89	70	9,00	7,90	5,0	5,7	197	136	153	170
M34	35,0	70	97	120	11,50	10,00	3,92	4,5	238	156	177	198
	52,0	104	144	180	17,10	15,00	2,63	3,0		191	212	233

Tab. 21. Typizované výstupní transformátory

Typové označení	Provedení	Impedance [Ω]		Převod	Primární indukčnost [H]	I [mA]	P [W]
		primární vinutí	sekundární vinutí				
9 WN 676 01	A	4 500	4 a 4	33,5 až 30	15,5	50	3
9 WN 676 02	C	4 500	4 a 5	33,5 až 30	6,5	50	5
9 WN 676 03	A	5 600	4 a 5	38,4 až 33,4	18,0	35	3
9 WN 676 04	C	5 600	4 a 5	38,4 až 33,4	7,0	35	3
9 WN 676 05	A	4 000	4 a 5	31,6 až 28,3	13,5	45	3
9 WN 676 06	C	4 000	4 a 5	31,6 až 28,3	5,5	45	3
9 WN 676 07	A	2 × 4 000	4 a 5	44,6 až 40	40	—	10
9 WN 676 08	A	2 400	4	24,5	8,6	70	3
9 WN 676 11	B	4 500	4 a 5	33,5 až 30	10,5	50	3
9 WN 676 13	B	5 600	4 a 5	38,4 až 33,4	11,5	35	3
9 WN 676 15	B	4 000	4 a 5	31,6 až 28,3	9,5	45	3
9 WN 676 16	B	2 400	4 a 5	24,5 až 22	6,0	70	3

Typ plechu	Délka pro vinutí [mm]			Výška pro vinutí [mm]			Plocha pro vinutí [cm <sup>2</sup> ]			Váha železa [kg]	Ochlazovací plocha [cm <sup>2</sup> ]
	abs.	1 ×	2 ×	abs.	Ø < 0,6 mm	Ø > 0,6 mm	abs.	1 ×	2 ×		
M5	13	12	11	3	2,5	—	0,39	0,30	0,28	0,01	18
M7	17	16	15	4	3,5	—	0,68	0,56	0,53	0,03	25
										0,05	29
M12	26	23	21	7	6	5,5	1,82	1,38	1,26	0,12	60
M17	32,5	29,5	27,5	8,5	7,5	7,0	2,60	2,21	2,06	0,31	106
M20	37	34	32	10,0	9	8,5	3,70	3,06	2,88	0,61	159
M23	43	39,5	37	12	10,75	10,25	5,16	4,25	3,98	0,90	199
M29	49	45,5	43	11	9,75	9,25	5,40	4,44	4,19	1,33	255
M34	61	57	54	13,5	12	11,5	8,23	6,84	6,48	2,00	353
										3,08	422

### Transduktory

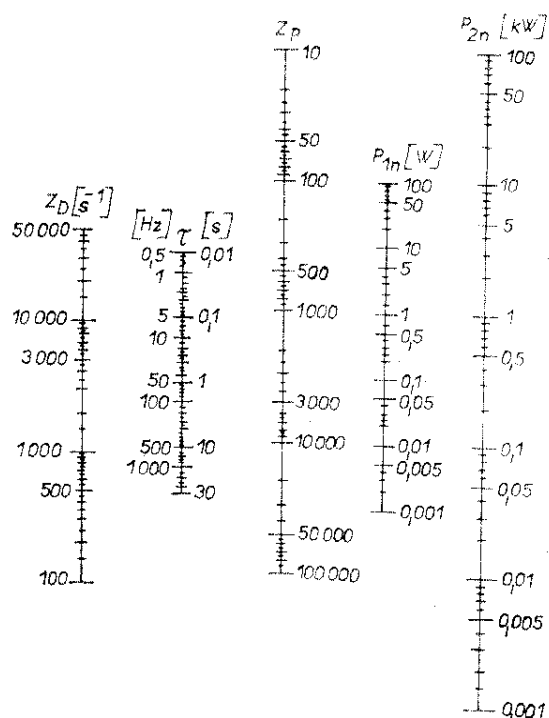
Transduktor je elektromagnetické zařízení, obsahující jednu nebo více přesytek (přesytka je v podstatě jádro z feromagnetického materiálu, které má dvě vinutí, a to pro střídavý a stejnosměrný proud), pomocí nichž je ovládán střídavý, popř. impulsní proud nebo napětí účinkem nezávislého proudu, napětí nebo zvláštním účinkem vnějším.

Magnetický zesilovač je transduktorové zařízení, umožňující zesílení proudu, napětí nebo výkonu. Energie je dodávána zdrojem napájecího napětí. Transduktory řady L a U, vyráběné v ZPA, n. p. Praha, byly řešeny jako výkonové stupně, jejich výstupní výkony se pohybují v rozsahu od 100 W do 100 kW a to pro napájecí napětí 110 V; 220 V; 3 × 380 V a na zvláštní objednávku na napětí 380 V a 500 V. Kmitočet napájecího napětí je 50 Hz.

Použití transduktorů je ve všech oborech regulace a to jak v ručních regulacích, tak i v automatických. Především

se uplatňují tam, kde je zapotřebí zesílit elektrické veličiny (neelektrické se převedou na elektrické). Magnetické zesilovače se mohou řídit ručně, např. změnou odporu zařazeného do budícího okruhu. Mnohem širší uplatnění mají však zařízení s magnetickými zesilovači v automatické regulaci. Při konstrukci s magnetickými zesilovači se musí při jejich volbě vycházet z některých základních požadavků, jako je velikost zátěže a maximální proud jí procházející, výkonové zesílení, řídicí výkon, časová konstanta, střídavý nebo stejnosměrný výstup apod., a ostatní parametry těmito požadavkům přizpůsobit.

K rychlejší orientaci, jaký typ z magnetických zesilovačů, které jsou v ČSSR k dispozici, zvolit, byly vztahy mezi dynamickým zesílením  $Z_D$ , časovou konstantou  $\tau$ , výkonovým zesílením  $Z_P$ , řídicím výkonem  $P_{1n}$  a výstupním výkonem  $P_{2n}$  sestaveny do grafu na obr. 13. Je-li tedy třeba, aby magnetický zesilovač dával určitý výkon při určité časové konstantě, zvolí se z dané řady



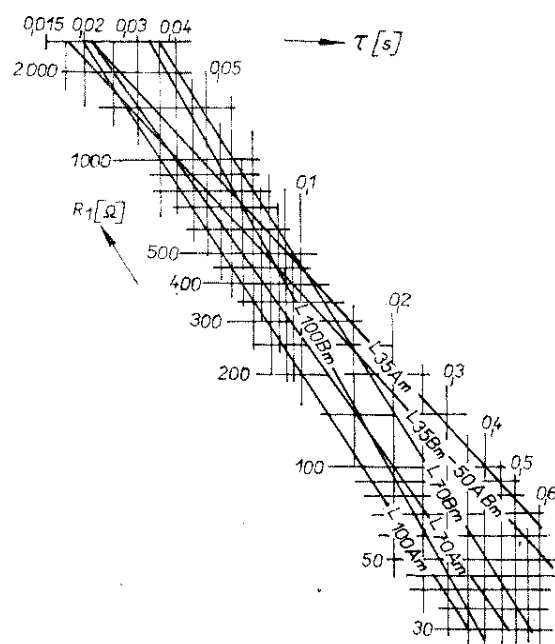
Obr. 13. Nomogram k určení nejvhodnějšího transduktoru z dané řady

magnetických zesilovačů zesilovač s nejbližší vyšším výkonem a jeho dynamické zesílení  $Z_D$  se vynese na příslušně označenou stupnici (obr. 13). Tento bod se spojí s požadovanou časovou konstantou (označení na stupnici  $\tau$ ) a spojnice se prodlouží až na stupnici výkonového zesílení  $Z_p$ , čímž se určí potřebné výkonové zesílení. Nyní se ověří, zda není překročeno maximální výkonové zesílení zvoleného typu magnetického zesilovače, a spojením požadovaného výstupního výkonu na stupnici  $P_{2n}$  s určeným výkonovým zesílením  $Z_p$  se najde potřebný řídicí výkon  $P_{1n}$ .

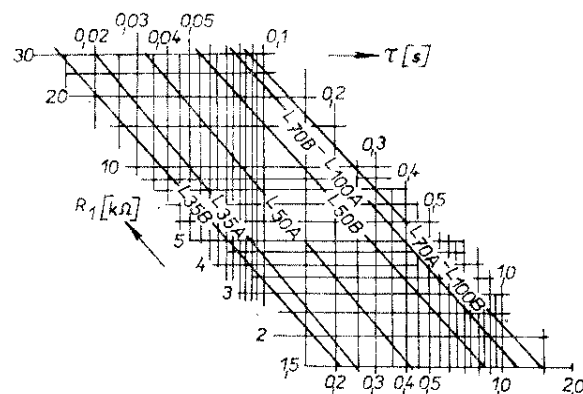
**Příklad:** Je požadován zesilovač s výstupním stejnosměrným výkonem 250 W se vstupem s malou impedancí, časová konstanta  $\tau = 0,2$  s. Jaký bude potřebný řídicí výkon?

Z údajů výrobce zvolíme zesilovač s nejbližší větším výkonem, tj. L 50 Bm s výstupním stejnosměrným výkonem 300 W,  $Z_p \text{ max.} = 1900$ ,  $Z_D = 3800$ . Na stupnici  $Z_D$  (obr. 13) najdeme bod 3800 a spojíme jej s bodem 0,2 na stupnici  $\tau$ . Prodloužením spojnice se určí výkonové zesílení  $Z_p = 780$ . Tento bod spojíme s bodem 0,250 na stupnici  $P_{2n}$  a tím

určíme potřebný řídicí výkon 0,3 W. Podobně postupujeme, jsou-li dány jiné veličiny. Např. je dán řídicí výkon 0,8 W a má být napájena zátěž 1000 W střídavým proudem. Jaký potřebujeme zesilovač a jaká bude časová konstanta? Podle údajů výrobce zvolíme zesilovač L 70 B, který má  $P_{2n} = 1300$  W,  $Z_D = 2800$ . Na stupnici  $P_{2n}$  najdeme bod 1 a přímka přes  $P_{1n} = 0,8$  určí výkonové zesílení  $Z_p = 1250$ . Spojením tohoto bodu s bodem dynamického zesílení  $Z_D = 2800$  zjistíme časovou konstantu  $\tau = 0,45$  s.



Obr. 14. Nomogram pro volbu předřadných odporů do řídicího obvodu transduktoru řady L se vstupem s malou impedancí



Obr. 15. Nomogram pro volbu předřadných odporů do řídicího obvodu transduktoru řady L se vstupem s velkou impedancí



Z obr. 14 a 15 můžeme pak pro danou časovou konstantu  $\tau$  zjistit příslušný činný odpor řídicího obvodu.

Magnetické zesilovače se používají jako stabilizátory a regulátory napětí, pro regulaci rychlosti otáčení stejnosměrných motorů, pro regulaci teploty v elektrických pecích, při regulaci osvětlení (stmívače.)

### Reproduktory

Reproduktory jsou zařízení, jimiž se mění elektrický signál na signál akustický. Jsou založeny na změně intenzity magnetického pole, vzbuzeného střídavou vložkou anodového proudu koncové elektronky nebo kolektorového proudu tranzistoru. Podle konstrukce dělíme reproduktory na

sluchátka,  
reproduktory elektromagnetické (magnetické),  
reproduktory elektrodynamické (dynamické).

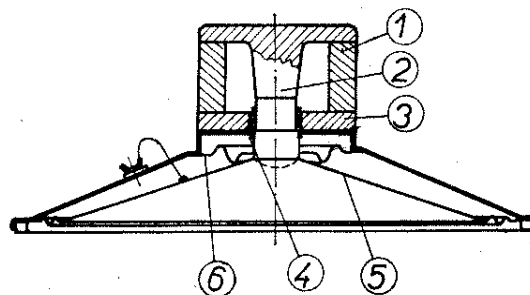
Činnost sluchátek je založena na principu změny magnetického pole trvalého magnetu. Magnet je opatřen pólovými nástavci z měkkého železa; na pólových nástavcích jsou nasazeny cívky s mnoha závity tenkého drátu. Vínutí těchto cívek jsou spojena za sebou. Těsně nad póly nástavců je uložena membrána (ovšem tak, aby se nedotýkala pólů) z tenkého pružného železného plechu a je pevně držena víkem našroubovaným na pouzdro sluchátka. Střídavá složka proudu, jehož amplitudy jsou úměrné amplitudám modulační vlny, působí změnu magnetického toku v mezeře mezi pólovými nástavci s membránou; při větších amplitudách je tok silnější, takže membrána je více přitahována pólovými nástavci než při amplitudách menších, kdy se opět svou pružností od pólových nástavců vzdaluje. Toto přibližování a vzdalování čili chvění membrány je shodné s kmitočtem a amplitudou zesilovaného zvukového signálu. Průměrný odpor jednoho sluchátka bývá 2 000 až 4 000  $\Omega$ , dvou sluchátek (náhlavních) tedy 1 000 až 2 000  $\Omega$ . V novějších sluchátkách jsou používány malé re-

produktory, nebo jsou sluchátka konstrukčně upravena jako reproduktory – mají impedanci 4 až asi 50 i více ohmů.

Reproduktory magnetické se v principu (konstrukčně) blíží konstrukci sluchátek, z nichž se původně vyvinuly. Místo kruhové membrány se u nich však rozechvívá páskový jazýček, který je spojen s kovovou membránou z duraluminu tloušťky asi 0,03 mm. Tyto reproduktory, které se zapojují podobně jako sluchátka, mají též velmi velký odpor (impedanci) asi 4 000 až 8 000  $\Omega$ . Dnes se již nepoužívají.

Reproduktor dynamický je v podstatě cívka, kterou prochází elektrický proud, který vytváří magnetické pole. Vložíme-li takovou cívku do stejnosměrného magnetického pole, které má stálou magnetickou indukci a směr kolmý k závitům cívky, tedy souhlasný s magnetickým polem, vytvořeným cívkou, bude cívka do tohoto pole vtahována nebo z něho vytlačována podle toho, zda budou mít obě pole směr souhlasný nebo opačný, tj. podle toho, jaký bude v cívce směr průchozího proudu. Spojíme-li pak takovou cívku se zvukovou membránou, rozechvěje se membrána souhlasně s pohybem cívky.

Nejobvyklejší uspořádání dynamického reproduktoru je na obr. 16. Díl 1 je prstencovitý magnet, podélně magnetizovaný. Díly 2 a 3 jsou pólové nástavce z magneticky vodivého materiálu (měkká ocel). V mezeře mezi nimi (která má tvar mezikruží) vzniká homogenní stejnosměrný magnetický tok. Vodič je navinut do tvaru válcové cívky na tělísku z tenkého tvrzeného papíru (4). Cívka je spojena s membránou (5) a ve vzduchové mezeře s magnetickým polem



Obr. 16. Konstrukce reproduktoru

bývá ještě středěna pomocnou středicí membránou (6) – jinak by totiž cívka mohla drhnout o pólové nástavce. Středicí membrána chrání současně celý systém před vniknutím kovových pilin. Vývody z cívky bývají nalepeny na membránu a připájeny na trubkové nýtky, nanýťované asi v jedné třetině jejího poloměru. Odtud potom pokračují smyčkou z měkkého lanka, které musí dovolit nerušené kmitání membrány. Špatně provedené vývody bývají často zdrojem různých nežádoucích pazvuků. Kmitací cívka kmitá v rytmu zesíleného střídavého signálu, který jí protéká. Z ní se kmitání přenáší na membránu a na okolní vzduch. Účinnost reproduktoru je velmi malá. Závisí na magnetickém poli v mezeře mezi pólovými nástavci a na průměru membrány. Čím je průměr membrány větší, tím je účinnost lepší, a tím lépe reprodukuje reproduktor i hluboké tóny. Je tedy nesprávné myslet, že k přijímači s malým výstupním výkonem patří malý reproduktor. Z hlediska jakosti reprodukce a zvukového výkonu by měl být vždy reproduktor naopak co největší.

### Přehled sluchátek a reproduktorů

#### Sluchátka

ARF 200 – stereofonní dynamická sluchátka s malou impedancí,  
 ARF 250 – monaurální dynamická sluchátka s malou impedancí,  
 AYF 210 – sluchátkové náušníky (potažené plastickou hmotou),  
 S 02; S 03 – sluchátko se zvukovodem – impedance 8  $\Omega$  (japonský výrobek).  
 Orbita – sluchátko se zvukovodem – impedance 40  $\Omega$  (SSSR).

#### Reproduktory

Reproduktory elektrodynamické se konstruují s bezrozptylovým magnetem Permaga (K), s magnety Permaga A (AK), Permaga (A), Permaga I (I), nebo s orientovaným feritem Durox (F). Kruhové reproduktory mají označení ARO, eliptické ARE. Mimo typizované reproduktory se vyrábějí i reproduktory podle speciálních požadavků, označované ARZ nebo reproduktory výškové, označované ARV. Typizované repro-

duktory jsou v tab. 22. Hloubkové reproduktory jsou v tab. 23. Reproduktory výškové jsou např. ARV 081, rozměr 75  $\times$  50 mm, impedance 4  $\Omega$ , označení K, a ARV 261,  $\varnothing$  100 mm, impedance 4  $\Omega$ , označení F. Reproduktory miniaturní jsou v tab. 24. Reproduktory atypické jsou v tab. 25.

#### Reproduktorové skřínky a soustavy

ARS 231 – stolní s regulací, rozměry 190  $\times$  143  $\times$  100; 100 V.

Tab. 22. Typizované reproduktory

Typ	Rozměr [mm]	Impedance [ $\Omega$ ]	Označení
ARE 367	125 $\times$ 80	4	F
ARE 369	125 $\times$ 80	4	F
ARE 389	125 $\times$ 80	4	F
ARE 467	160 $\times$ 100	4	F
ARE 489	160 $\times$ 100	4	K
ARE 567	205 $\times$ 130	4	F
ARE 589	205 $\times$ 130	4	K
ARE 667	255 $\times$ 160	4	F
ARE 689	255 $\times$ 160	4	K
ARO 367	$\varnothing$ 100	4	F
ARO 389	100	4	K
ARO 567	165	4	F
ARO 589	165	4	K
ARO 667	200	4	F
ARO 689	200	4	K

Tab. 23. Hloubkové reproduktory

Typ	$\varnothing$ [mm]	Impedance [ $\Omega$ ]	Označení
ARZ 369	100	4	F
ARZ 668	203	8	F
ARZ 669	203	4	F
ARO 711	270	4	I
ARO 814	340	4	A
ARO 835	340	4	A
ARO 932	390	15	A
ARO 942	390	30	A

Tab. 24. Miniaturní reproduktory

Typ	Ø [mm]	Impedance [Ω]	Označení
ARZ 081	65	8	K
ARZ 085	50	8	K
ARZ 087	38	8	K
ARZ 088	65	8	K
ARZ 089	65	20	K
ARZ 090	65	16	K
ARZ 091	65	25	K
ARZ 092	65	75	K
ARZ 095	50	25	K
ARZ 097	38	25	K
ARZ 098	75	75	K

Tab. 25. Atypické reproduktory

Typ	Rozměr [mm]	Impedance [Ω]	Označení
ARZ 341	Ø 117	25	A
ARZ 381	Ø 117	4	AK
ARZ 384	125 × 80	4	K
ARZ 385	Ø 100	4	K
ARZ 386	125 × 80	16	K
ARZ 387	Ø 100	16	K
ARZ 388	125 × 80	8	K
ARZ 389	Ø 100	8	K
ARZ 391	Ø 100	12	K
ARZ 489	180 × 80	4	K
ARZ 572	s okrasnou mřížkou o Ø 160	4	F
ARZ 662	280 × 80	4	F
ARZ 689	280 × 80	4	K
ARZ 571	s rámečkem Ø 160	4	F

ARS 235 – stolní bez regulace, rozměry 190 × 143 × 100; 100 V.

ARS 235 – stolní bez regulace, rozměry 190 × 143 × 100; 4 Ω.

ARS 243 – stolní s regulací, rozměry 260 × 175 × 100; 100 V.

ARS 245 – stolní bez regulace, rozměry 260 × 175 × 100; 4 Ω.

ARS 265 – závěsná bez regulace, rozměry 250 × 250 × 135; 100 V.

ARS 293 – stolní s regulací, rozměry 403 × 273 × 175; 100 V.

ARS 294 – stolní s regulací, rozměry 448 × 265 × 185; 100 V.

ARS 295 – stolní bez regulace, rozměry 403 × 273 × 175; 4 Ω.

ARS 296 – stolní bez regulace, rozměry 448 × 265 × 185; 4 Ω.

ARS 712 – stolní, dřevěná, rozměr 190 × 258 × 165; 4 Ω.

ARS 713 – stolní, dřevěná, rozměr 190 × 258 × 168; 4 Ω.

ARS 715 – stolní, z plast. hmoty, rozměr 150 × 245 × 240; 4 Ω.

Ostatní reproduktorové soustavy jsou určeny pro náročnější zájemce o kvalitní reprodukci jako monofonní, tak stereofonní. (Např. typ ARS 704; obsah 200 l; 15 Ω; 100 V; 50 VA; osazená šesti reproduktory o průměru 200 mm).

### Relé

Elektromechanická relé jsou v průmyslové řídicí a regulační technice typickým stavebním prvkem, a to zvláště pro svou jednoduchost, provozní spolehlivost, snadnou použitelnost a hospodárnost, která umožňuje jejich uplatnění ve složitých obvodech a v různých provozních podmínkách. Také v amatérské praxi se často setkáme s použitím elektromechanických relé.

Přehled základních definic a pojmů, které je nezbytné znát při nákupu a použití relé:

1. Jmenovité napětí – je efektivní hodnota napětí, pro které je relé určeno a k němuž se vztahují ostatní údaje relé.
2. Největší a nejmenší provozní napětí – je údaj, který určuje maximální a minimální napětí, při nichž je relé ještě schopno pracovat.
3. Pracovní proud – je proud, který prochází vinutím při pravidelném chodu relé.
4. Trvalý proud kontaktů – je největší proud, který může trvale procházet kontakty relé, aniž by se poškodily.
5. Jmenovitý kmitočet – je kmitočet, pro který je vinutí relé navrženo.

Nejčastěji to bývá kmitočet střídavé sítě 50 Hz.

6. Časová chyba – je rozdíl mezi nařízeným a skutečně zjištěným zpožděním relé.
7. Návrát – je přechod relé do původní polohy před „rozběhem“.
8. Spotřeba – je příkon spotřebovaný v obvodech relé, vyjádřený ve voltampérech (VA) nebo ve wattech (W), při jmenovitých napětích a proudech, při ustálené teplotě a při teplotě okolí  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
9. Hustota spínání – je počet zapnutí a vypnutí kontaktní části relé a udává se zpravidla za jednu hodinu.
10. Doba styku kontaktů – je doba od počátku pohybu kontaktů při vypínání až do okamžiku, v němž se jejich styk přeruší.
11. Kontakty – jsou vodivé části spínacího ústrojí relé, určené k tomu, aby stykem převáděly proud a upravené tak, aby jimi bylo možno spojit a rozpojit proudový obvod. Prochází-li kontakty při působení relé provozovací proud, jsou to hlavní kontakty. Kontakty určené pro návěštění a blokování jsou kontakty pomocné; spínají současně s hlavními kontakty, s nimiž jsou mechanicky vázány.
12. Kontakty spínací – jsou v klidové poloze rozepnuty.
13. Kontakty rozpínací – jsou v klidové poloze spojeny.
14. Přepínací kontakty – které spojují v klidové poloze jeden ze dvou proudových obvodů, přepnou při působení relé na druhý obvod.
15. Zapínací schopnost – je největší proud nebo výkon, jaký mohou kontakty za daných podmínek spojit.
16. Vypínací schopnost – je největší proud nebo výkon, jaký mohou kontakty za daných podmínek rozpojit.
17. Cívka je souhrn po sobě následujících závitů izolovaného vodiče, navinutého na izolační pouzdro.
18. Doba života (životnost) je maximální počet působení, jež ústrojí relé vydrží za předepsaných podmínek, aniž se jeho vlastnosti změní více, než je určeno jmenovitou tolerancí.

## Rozdělení relé

1. Elektrické relé – je přístroj, který ovládá spojením nebo rozpojením svých kontaktů připojená elektrická zařízení, a to buď v obvodu, v němž je zařazeno, nebo v jiném obvodu. Tato činnost je vyvolána popudem vzniklým změnou v podmínkách elektrického obvodu, do něhož je elektrické relé zapojeno.
2. Jistící relé – jistí elektrické zařízení nebo jeho část tím, že při nežádoucích provozních stavech nebo při poruše odpojí ohroženou část nebo vyšle varovný signál, aby se předešlo možnému poškození, popř. aby se omezila škoda.
3. Řídicí relé – řídí postup žádaných řídicích úkonů tak, aby následovaly za sebou v daném pořadí, nebo předem zvoleným způsobem.
4. Pomocné relé – doplňuje jiná relé v jejich činnosti tím, že zvětšuje zapínací a vypínací schopnost jejich spínacího ústrojí, nebo tím, že zvětšuje počet jejich kontaktů.
5. Časové relé – je relé s úmyslným zpožděním působení.
6. Polarizované relé – je relé, jehož působení závisí na polaritě proudu (napětí). Může být polarizováno trvalým magnetem, elektromagnetem nebo magnetickým bočníkem.
7. Tepelné relé – je relé, jehož pohyblivá kontaktní část se uvádí do pohybu ohřátím části relé procházejícím proudem.
8. Přepínací relé – je měřicí relé se dvěma polohami; po demagnetizaci zůstane v poloze, v níž bylo před demagnetizací. Zde se používá také tzv. paměťové relé.
9. Proudové relé – je relé, u něhož je proudovou veličinou elektrický proud. Může to být buď relé nadproudové, které působí, když proud dosáhne nebo překročí zvolenou velikost, nebo relé podproudové, které se uvede v činnost při zmenšení proudu na velikost rovnou nebo menší, než je velikost zvolená.
10. Napěťové relé – je relé, u něhož je napětí popudovou veličinou. Relé

na napětí působí při dosažení předem stanoveného napětí; může to tedy být buď relé na nadnapětí (dosáhne-li nebo překročí-li napětí zvolenou velikost), nebo na podnapětí (zmenší-li se napětí na velikost rovnou nebo menší, než je zvolená velikost napětí).

### *Typy relé*

**TMP 3** – dlouhodobé kontinuální programové relé, lze ho využít jako programového strojku pro volbu šesti, případně sedmi délkou na sobě nezávislých časových impulsů (110 V nebo 220 V/50 Hz).

**RT 101 a U 100** – tranzistorové relé a miniaturní usměrňovač se používají jako pomocné relé pro malý řídicí výkon, většinou všude tam, kde nestačí jediný přepínací kontakt. Usměrňovač je pro 220 V/24 V (2 W). Tranzistorové relé je na 24 V, počet kontaktů – 2 přepínací nebo 3 spínací.

**R 601** – tranzistorové relé, je určeno pro kontaktní řízení elektrohydraulického ovladače plečky na řepu „Agrostroy“. Může být použito i pro ovládání jiných automatizačních a mechanizačních zařízení; kontakty s velkým vnitřním odporem (až 500 kΩ). Napětí stejnosměrné, 120 V.

**ZV 14 Cl** – pomocné relé, používá se k ovládání dalších reléových obvodů, automatik, stykačů a jiných zařízení. Předností jsou masivní kontakty, zajišťující do značné míry spolehlivou funkci i při otřesech. Napětí stejnosměrné, 12, 24, 36 a 60 V, kontakty – 2 přepínací.

**RD 1, 2, 3, 4** – pomocné relé se zesilovačem – používá se v obvodech s velmi malými ovládacími proudy. Např. u zařízení s kontaktním teploměrem, jako jsou různé termostaty a řízení větracích zařízení v závislosti na teplotě. Lze je též použít pro signalizaci stavu kapalin v nádrži apod. Napětí střídavé 220 V.

**RP 30** – pomocné relé se zvýšenou schopností, určené pro různé ovládací obvody a automatiky. Je vhodné pro přímé ovládání malých servomotorů, velkých stykačů apod. Stejnosměrné relé **RP 30** má rovněž čtyři kontakty jako

střídavé; čtvrtý kontakt je však použit pro zapojení rozběhového odporu. Příslušný odpor je nutno vždy použít a přikládá se ke každému relé. Napětí stejnosměrné, 6, 12, 24, 36, 48, 60, 110, 220 V a střídavé, 6, 12, 24, 32, 48, 60, 110, 220, 380 V.

**RP 47** – pomocné relé, relé s velkým počtem kontaktů pro obvody nízkého napětí, s prodlouženou mechanickou dobou života. Je vhodné hlavně k vestavění do rozvaděčových skříní. Napětí stejnosměrné, 6, 12, 24, 36, 48, 60, 110, 220 V a střídavé, 12, 24, 32, 42, 48, 60, 110, 220 V.

**RP 50** – pomocné relé, používá se jako jemné pomocné relé s malou spotřebou, které může být řízeno kontakty s malým spínacím výkonem (např. kontaktní teploměr). Napětí stejnosměrné, 4, 6, 12, 24, 36, 48, 60, 110, 220 V a střídavé, 8, 12, 24, 32, 42, 48, 60, 110, 220, 380 V.

**RP 81** – pomocné stejnosměrné relé. Je určeno pro sestavování automatik, jako anodové relé v zapojeních s elektronickými prvky a jako koncový prvek. Napětí 6, 12, 24, 32, 42, 48, 60, 110, 220 V.

**RP 92** – pomocné relé pro střídavé napětí. Jeho použití je univerzální pro nejrůznější spínací obvody, průmyslová zařízení a automatiky. Napětí 6, 12, 24, 32, 42, 60, 110, 220, 380 V.

**RP 102** – pomocné univerzální stejnosměrné relé, s mimořádně velkou mechanickou i elektrickou dobou života. Napětí 6, 12, 24, 36, 48, 60, 110, 220 V.

**RP 200** – pomocné miniaturní stejnosměrné relé pro přímé připojení na desku s plošnými spoji. Je vhodné především pro nejrůznější obvody moderních automatik s polovodičovými prvky a logickými obvody, v nichž není napětí větší než 60 V. Napětí 6, 12, 24, 48, nebo 60 V.

**RP 300** – pomocné relé s mnoha kontakty pro střídavý i stejnosměrný proud, vhodné pro automatiky pracovních strojů a zvláště tam, kde se požaduje dlouhá doba života, robustnost provedení a malé rozměry. Svou



konstrukcí a působením tvoří toto relé určitý přechod mezi pomocným relé a stykačem. Napětí střídavé, 24, 48, 110, 127, 220, 380 V a stejnosměrné, 24, 48, 60, 110, 120, 220 V.

PAR 1 – paměťové relé pro signální a ovládací zařízení slouží jako paměťový prvek bez závislosti na ztrátě napětí, přičemž obě polohy kotvy jsou aretovány. Napětí stejnosměrné, 24 až 60 V.

RPK 210 a RPK 211 – paměťová stejnosměrná relé, používají se v signálních a ovládacích zařízeních s napětím do 60 V; jako paměťový prvek tam, kde poloha kontaktů musí být zachována i při ztrátě napětí. Je konstruováno pro připájení přímo na desku s plošnými spoji (RPK 210) nebo k upevnění na desku (RPK 211). Napětí 12, 24, 48 nebo 60 V.

BT 11 – časový impulsní strojek – lze ho použít jako impulsní element v různých elektrických obvodech. Sled pravidelných impulsů je vysílán vačkovým zařízením, poháněným synchronním motorkem. Napětí střídavé, 220 V. Celkový čas pro jednu otáčku je 60 s.

TB 12, TB S1 – tepelná časová relé. Jsou určena pro zpoždění elektrických povelů všude tam, kde nezáleží na přesnosti doby zpoždění a kde není na závadu dlouhá doba návratu. Napětí střídavé, 12, 24, 30, 36, 42, 48, 60, 80, 110, 220, 380 V. Časová seřaditelnost 20 s až 6 minut.

TC 101 – časové relé pro automatické znovuzapnutí stykačů nebo jiných elektromagnetických přístrojů při krátkodobé ztrátě napětí, nebo při jeho zmenšení pod náběhovou velikost. Relé má vyloučit vliv beznapěťových pauz při cyklech zpětného zapínání v síti. Napětí střídavé, 220 V.

T 11 – časové relé pro velmi přesné zpoždění spínacího impulsu v seřaditelné době. Napětí stejnosměrné, 24, 60, 110 a 220 V. Časové rozsahy: 0,4 až 3; 0,5 až 6; 1 až 12 s.

TD 11 – krátkodobé časové relé s dlouhou dobou života, osazené tyatronem se studenou katodou. Je určeno pro zpoždování ovládacích impulsů, žádá-li se dlouhá doba života při značné hustotě spínání (např. v automatikách obrábě-

cích strojů). Napětí střídavé 220 V. Časové rozsahy: 0,6 až 6; 1,2 až 12; 2,4 až 24; 4,8 až 48; 8 až 80 s.

TM 10 – dlouhodobé časové relé se synchronním motorkem a se spojkou na činný nebo stálý proud s přídržným kontaktem spojky. Je vhodné pro zpoždování různých pochodů nebo odměřování doby jejich trvání. Napětí střídavé, 110 nebo 220 V. Časové rozsahy: na činný proud 0 až 20 s, pro stálý proud 0 až 2; 6; 15; 30; 150 min., na činný proud s přídržným kontaktem spojky 0 až 12; 24 hod.

RPK – popudové relé pro dálkové řízení proudovými impulsy nebo přerušováním stálého proudu. Napětí stejnosměrné, 24, 110, 220 V nebo střídavé, 220 V.

MRA, MRK – rtuťová relé ovládaná elektromagneticky ke spínání a automatické regulaci menších pecí, motorků a všude tam, kde je třeba bezhlučného chodu kontaktů a jejich odolnosti proti korozi, nebo tam, kde je nutno malými proudy ovládat poměrně velké výkony. Napětí střídavé i stejnosměrné do 250 V.

LUN – miniaturní stejnosměrné relé k přepínání elektrických obvodů se stejnosměrným i střídavým proudem. Relé se používá se speciální zásuvkou. Napětí 6, 12, 24, 48, 160 V.

HU 101 – jazýčková relé – jsou vyhledávaným spínacím prvkem pro vytvoření kontaktních skupin spojovacích, rozpojovacích a přepínacích. Jazýčkové relé se skládá ze dvou pásků magnetického materiálu, vhodně tepelně zpracovaného. Pásky jsou na protilehlých koncích zataveny do trubičky z olovnatého skla. Volné konce se přikrývají a mezi nimi je mezera. V místě styku jsou funkční plochy jazýčkových kontaktů pozlacené. Mezera mezi kontakty obou pásků se nastavuje a pásky se do skleněné trubičky zatavují automaticky, na zatavovací zařízení. Tím je zajištěno dosažení co nejužších tolerancí v požadovaných „přítahových a odpadových ampérzávitech“ a ve velikosti přechodového odporu. Měřítkem nejužší tolerance ampérzavítů pro přítah je počet 30 až 60, pro odpad 20 až 30. Přechodový odpor je asi 50 mΩ. Pracovní stejno-

směrné napětí je 12 a 24 V. Napětí na kontaktech je max. 125 V a přípustný proud je 0,4 A. Při zátěži činným odporem je max. spínací výkon 10 W.

### Měřicí přístroje

Elektrický měřicí přístroj (měřidlo) je přístroj, který měří elektrickou veličinu. Měřicí přístroje pro speciální účely dělíme na přístroje součtové, rozdílové, součinnové, poměrové, derivující, integrující a zapisovací (registrační).

Podle druhu měřené veličiny rozeznáváme: ampérmetry, voltmetry, wattmetry, měřiče kmitočtu, fáze atd. Podle použití a podle způsobu provedení rozeznáváme: základní přístroje (pro kontrolu a kalibraci jiných přístrojů); laboratorní přístroje (pro přesnější laboratorní měření); provozní přístroje rozvaděčové a panelové (pro pevnou montáž) a přenosné provozní přístroje (pro běžná, zpravidla méně přesná provozní měření).

Součtová měřidla jsou založena na sčítání dvou nebo více momentů stejných veličin v jeden výsledný moment, který nazýváme součtovým momentem. Pro součtová měřidla používáme jen soustavy magnetoelektrické (s otočnou cívkou), elektrodynamické a indukční. Součtová měřidla se používají především k měření celkového výkonu trojfázové soustavy, který je dán součtem výkonů jednotlivých fází.

Rozdílová měřidla – tato měřidla se podstatně neliší od součtových měřidel. Rozdíl je zde jen v zapojení a v tom, že výsledný moment je úměrný rozdílu měřených veličin. Tato měřidla mají význam hlavně tam, kde chceme měřit malé rozdíly dvou téměř stejných veličin. Používáme je při srovnávacích měřicích metodách.

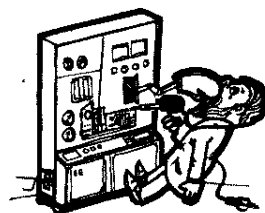
Součinnová měřidla – příkladem součinnového měřidla je elektrodynamický wattmetr. U běžného wattmetru dynamické soustavy je moment (a tím také výchylka) úměrný součinu napětí a proudu. Poměrová měřidla – jsou velmi často používána k měření odporu, teploty a k přenášení veličin na dálku. Používají se také v různém zapojení při měření vlastností střídavého proudu,

hlavně jako měřiče fáze a kmitočtu. Moment (a také výchylka) těchto měřidel je úměrný poměru dvou veličin, bez ohledu na jejich absolutní velikost. Poměrová měřidla nemají řídicí moment. Ručka se v klidovém stavu nevrací na nulu a může zaujmout libovolnou polohu na stupnici. Výchylka je dána rovnovážnou polohou dvou momentů, které jsou vyvažovány dvěma měřenými veličinami.

a) *Magnetoelektrická měřidla* – otočná část má dvě cívky vzájemně proti sobě natočené o úhel max. 90°. Obě zkřížené cívky jsou buď stejně velké, nebo může být také jedna z nich menší, např. poloviční. Cívky se otáčejí mezi póly trvalého magnetu. Uvnitř cívek je jako u magnetoelektrické soustavy souose uložen váleček z měkké oceli. Váleček může být nahrazen nařiznutým kroužkem z měkké oceli, který je přerušen mezerou. Proud k cívkám přivádíme ohebnými pásky, které prakticky nepůsobí žádný řídicí moment. Cívky jsou pevně mezi sebou spojeny a mají společné uložení. Na cívkách je připevněna ručka. Vzduchová mezera hlavního magnetického obvodu je nerovnoměrná. Magnetická indukce se mění v závislosti na tloušťce mezery a tím se dosáhne potřebné závislosti momentu na výchylce. Měřidla se zkříženými cívkami slouží také k měření teploty.

b) *Elektrodynamická měřidla* – nahradíme-li u poměrového měřidla magnetoelektrické soustavy trvalý magnet cívkou, vznikne poměrové měřidlo elektrodynamické. Zkřížené cívky se obvykle otáčejí uvnitř pevné cívky, nebo jsou pevné a otáčí se třetí cívka. Volbou tvaru cívek u měřidla bez železa a změnou vzduchové mezery u měřidla se železem lze měnit závislost momentu na výchylce. Poměrová měřidla elektrodynamické soustavy se používají jako měřiče fáze a kmitočtu.

Jako rozvaděčové a zapisovací měřidlo používáme pro poměrně velký moment fázoměr elektrodynamický. Je to



soustava elektrodynamická, spojená se železem. Napěťové cívky jsou pevné a tvoří vyjádřené magnetické póly. Otočnou cívku je hlavní proudová cívka, která je zapojena přes transformátor proudu s převodem 5 A/0,1 A. Rozdíl mezi jednofázovým a trojfázovým elektrodynamickým fázoměrem je v tom, že trojfázové měřidlo má obě napěťové cívky zapojené přes stejné činné odpory na ostatní dvě fáze sítě. První fáze je zapojena přes pevnou cívku fázoměru.

c) *Elektromagnetická měřidla* slouží pro měření fáze v trojfázové soustavě. Měřidlo má tři pevné cívky, které jsou připojeny přes předřazené odpory na fázová napětí, takže každá cívka je napájena proudem, který je o 120° posunut proti proudu předcházející cívky.

Derivující přístroje lze poměrně těžko sestavit, proto se využívá k záznamu rychlého průběhu derivace proudu (nebo napětí) derivačních obvodů. K měření a záznamu derivace při pomalých změnách lze použít zrcátkový galvanometr, zapojený na sekundární napětí normálu vzájemné indukčnosti.

Integroující přístroje. K těmto přístrojům patří elektroměr, který měří časový integrál výkonu, tzn. elektrickou práci. Elektroměr je složen z vlastní měřicí soustavy, která pohání počítadlo. Stej-

nosměrná soustava je tvořena buď magnetoelektrickou, nebo elektrodynamickou soustavou. Pro měřicí soustavu střídavého elektroměru se používá výhradně indukční soustava.

### Nejběžnější měřidla a měřicí přístroje

1. Panelové přístroje magnetoelektrické: MP 40, MP 80, MP 120. Jsou určeny pro měření stejnosměrných proudů a napětí. Ve spojení se stykovým usměrňovačem lze jimi měřit i střídavé proudy nebo napětí (MuP). Pouzdra přístrojů jsou z tvrditelné lisovací hmoty, průčelí z termoplastu a jsou určeny pro zapuštěnou montáž. Na panel se upevňují speciálními příchytkami. Jsou uchovávány ve svislé poloze (tab. 26 a tab. 27). Rozměr průčelí MP 40 je 40 × 40 mm, délka stupnice asi 30 mm; výchylka ručky 90°; třída přesnosti 2,5; váha 0,035 kg. Rozměr průčelí MP 80 je 80 × 80 mm; délka stupnice asi 57 mm; výchylka ručky 80°; třída přesnosti 1,5; váha 0,2 kg. Rozměr průčelí MP 120 je 120 × 120 mm, délka stupnice asi 97 mm; výchylka ručky 80°; třída přesnosti 1,5; váha 0,3 kg.

Měřicí přístroje střídavé s označením MuP-40 se vyrábějí v těchto rozsazích: ampérmetry 1; 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 15; 25; 40; 60; 100; 150; 250; 400; 600 mA

Tab. 26. Ampérmetry a voltmetry MP 40

Ampérmetry MP 40		Voltmetry MP 40	
Rozsah	Vnitřní odpor	Rozsah	Vnitřní odpor
60 $\mu$ A	4 000 $\Omega \pm 25 \%$	10 mV	5 $\Omega \pm 5 \%$
100 $\mu$ A	1 800 $\Omega \pm 25 \%$	15 mV	8 $\Omega \pm 5 \%$
150 $\mu$ A	800 $\Omega \pm 25 \%$	25 mV	14 $\Omega \pm 5 \%$
250 $\mu$ A	800 $\Omega \pm 25 \%$	40 mV	22 $\Omega \pm 5 \%$
400 $\mu$ A	500 $\Omega \pm 25 \%$	60 mV	33 $\Omega \pm 5 \%$
600 $\mu$ A	330 $\Omega \pm 25 \%$	100 mV	55 $\Omega \pm 5 \%$
1 mA	330 $\Omega \pm 25 \%$	150 mV	80 $\Omega \pm 5 \%$
1,5 mA	80 $\Omega \pm 15 \%$	250 mV	140 $\Omega \pm 5 \%$
2,5 mA	33 $\Omega \pm 15 \%$	400 mV	220 $\Omega \pm 5 \%$
4 mA	18 $\Omega \pm 15 \%$	600 mV	330 $\Omega \pm 5 \%$
6 mA	7 $\Omega \pm 15 \%$	1 V	550 $\Omega \pm 5 \%$
10 mA	3,5 $\Omega \pm 25 \%$		



Tab. 27. Ampérmetry a voltmetry MP 80 a MP 120

Ampérmetry MP 80, MP 120		Voltmetry MP 80, MP 120	
Rozsah	Vnitřní odpor	Rozsah	Vnitřní odpor
10 až 60 $\mu$ A	6 000 $\Omega \pm 25 \%$	10 mV	100 $\Omega \pm 5 \%$
100 $\mu$ A	1 800 $\Omega \pm 25 \%$	15 mV	100 $\Omega \pm 5 \%$
150 $\mu$ A	850 $\Omega \pm 25 \%$	25 mV	150 $\Omega \pm 5 \%$
250 $\mu$ A	260 $\Omega \pm 15 \%$	40 mV	160 $\Omega \times 5 \%$
400 $\mu$ A	850 $\Omega \pm 15 \%$	60 mV	240 $\Omega \pm 5 \%$
600 $\mu$ A	750 $\Omega \pm 15 \%$	100 mV	400 $\Omega \pm 5 \%$
1 mA	185 $\Omega \pm 15 \%$	150 mV	600 $\Omega \pm 5 \%$
1,5 mA	125 $\Omega \pm 15 \%$	250 mV	1 000 $\Omega \pm 5 \%$
2,5 mA	50 $\Omega \pm 15 \%$	400 mV	1 600 $\Omega \pm 5 \%$
4 mA	33 $\Omega \pm 15 \%$	600 mV	2 400 $\Omega \pm 5 \%$
6 mA	15 $\Omega \pm 15 \%$		
10 mA	3 $\Omega \pm 15 \%$		

a 1; 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 15; 25; 40 A. Voltmetry 2,5; 4; 6; 10; 15; 25; 40; 60; 100; 150; 250 V.

Měřicí přístroje střídavé s označením MuP-80 a 120 se vyrábějí v těchto rozsazích: ampérmetry 150; 250; 400; 600  $\mu$ A a 1; 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 15; 25; 40; 60; 100; 150; 250; 400 mA. Voltmetry 2,5; 4; 6; 10; 15; 25; 40; 60; 100; 150; 250 V.

2. Malý klešťový ampérvoltmetr PK 110 a PK 111 je určen pro měření střídavého proudu a napětí. PK 110 – proudové rozsahy 6; 12; 30; 60; 300 A a napěťové rozsahy 60; 300; 600 V. PK 111 – proudové rozsahy 1,2; 3; 6; 12; 60 A a napěťové rozsahy 60; 300; 600 V. Výhodou těchto přístrojů je, že pouhým obemknutím vodiče čelistmi kleští lze měřit proud na volných vodičích, na pojistkách, na vývodech apod.

3. Měřič izolačních odporů – Megmet je určen pro měření izolačních odporů na venkovních kabelových sítích v zařízeních elektronických strojů a instalací. Naměřený izolační odpor zkoušeného zařízení se čte přímo na stupnici v M $\Omega$ . Klikový induktor dává stejnosměrné, kondenzátorem dobře vyhlazené napětí 100, 500 nebo 1 000 V.

4. Malý univerzální měřicí přístroj PU 110 je určen k měření stejnosměr-

ných, střídavých proudů a napětí, činných odporů a teploty (termočlánkem Fe-Ko). Přístroj má 22 měřicích rozsahů. Lze s ním proměřovat i kapacity v rozsahu 0,01 až 5  $\mu$ F. Vnitřní odpor je 1 k $\Omega$ /V (ss) a 333  $\Omega$ /V (st). Napájení 1,5 V.

5. Malý univerzální měřicí přístroj PU 120 je určen k měření stejnosměrných střídavých proudů a napětí, činných odporů a ke zkoušení tranzistorů p-n-p i n-p-n a diod. Přístroj má 27 měřicích rozsahů. Vnitřní odpor je 20 k $\Omega$ /V (ss) a 8 k $\Omega$ /V (st). Napájení  $3 \times 1,5$  V.

6. Servisní přístroj pro motoristy PU 140 je určen k měření hlavních elektrických parametrů, důležitých pro správný chod zážehového motoru a bezporuchový provoz motorového vozidla. Měřicí rozsahy 0 až 300 mV; 0 až 3 V; 0 až 15 V; 10 až 20 V. Proud 0 až 6 A; odpor 0 až 100  $\Omega$  až  $\infty$ .

7. Kapesní univerzální přístroj PU 340 je určen pro rychlá měření stejnosměrných i střídavých napětí a proudů. Je vhodný pro široké použití ve slaboproudé elektrotechnice, pro amatéry atd. Měřicí rozsahy pro střídavá a stejnosměrná napětí jsou 10; 50; 250; 500 V, pro stejnosměrný a střídavý proud 0,5; 5; 50; 500 mA. Vnitřní odpor je 2 k $\Omega$ /V (ss i st). Třída přesnosti je 2,5.

V této kapitole jsou vybrány nej-  
používanější měřicí přístroje z hlediska  
použití pro amatéra; je však celá řada  
dalších přístrojů, které by bylo možno  
uvést, jako např. laboratorní měřicí  
přístroje, dále pak elektronické měřicí  
přístroje, registrační (zapisovací) měřicí  
přístroje atd. Podrobnější popis někter-  
ých těchto přístrojů a jejich použití  
najdete v RK č. 1 z roku 1971, str. 30  
až 40.

### Elektronky

Nejstarší a v amatérské praxi nejroz-  
šířenější skupinou aktivních součástek  
jsou snad dosud (bohužel) elektronky.  
Používáme je na všech stupních přijí-  
mačů a vysílačů. Elektronku tvoří skle-  
něná baňka vzduchoprázdna nebo plně-  
ná zředěným plynem (např. neonem)  
nebo rtuťovými, kovovými parami.  
V baňce je upevněna katoda a kolem  
ní jsou soustředěny ostatní elektrody.  
Elektronka využívá schopnosti katody  
emitovat (uvolňovat) elektrony. Tyto  
elektrony jsou pak přitahovány kladně  
nabitou elektrodou. Katody jsou dvojího  
druhu, přímo žhavené (tj. emisním ma-  
teriálem, obvykle směs kysličníku barya  
a stroncia, protéká přímo žhavicí proud),  
nebo nepřímou žhavené (topné vlákno  
má emisní vrstvu nanesenu na niklové  
krabičce, která je žhavena wolframo-  
vým vláknem izolovaným kysličníkem  
hlinitým a je umístěna izolovaně vzhle-  
dem ke katodě). Elektroda, přitahující  
elektrony, která obklopuje katodu a má  
obvykle válcový tvar, je zhotovena  
z niklového nebo železného plechu nebo  
z hliníkového pletiva a nazývá se anoda.  
Ostatním elektrodám umístěným mezi  
anodou a katodou říkáme mřížky. Aby se  
dosáhlo co nejlepšího vakua, je uvnitř  
baňky trubička (ocelová, niklová) s tzv.  
getrem (obvykle baryum s přísadou  
hliníku nebo hořčíku). Po vyčerpání  
vzduchu z baňky se trubička getru, tvo-  
řící závit nakrátko, ohřeje indukova-  
ným vysokofrekvenčním proudem do  
červena – tím se getr vypaří, pohltí zby-  
tky vzduchu a sám zkondenzuje na stěně  
baňky, kde vytvoří kovový povlak.

Typů a druhů elektronek je velmi  
mnoho. Pro rychlou orientaci nám slou-

ží jednotné evropské značení, které se  
skládá ze skupiny písmen a číslic. První  
písmeno (nebo číslice) udává typ žha-  
vení a žhavicí napětí (popř. proud),  
další písmeno funkci elektronky, série  
následujících číslic označuje použitou  
patici a postupný vývojový typ.

K označení typu (první část znaku)  
žhavení se používají tato písmena:

- A – žhavicí napětí 4 V; paralelní na-  
pájení.
- D – žhavicí napětí 1,4 V, popř. 1,2 V;  
napájení z baterií paralelně nebo  
sériově.
- E – žhavicí napětí 6,3 V; paralelní  
(vyjimečně i sériové) napájení.
- G – žhavicí napětí 5 V; paralelní na-  
pájení.
- P – žhavicí proud 0,3 A; sériové napá-  
jení.
- U – žhavicí proud 0,1 A; sériové napá-  
jení.
- V – žhavicí proud 0,05 A; sériové na-  
pájení.

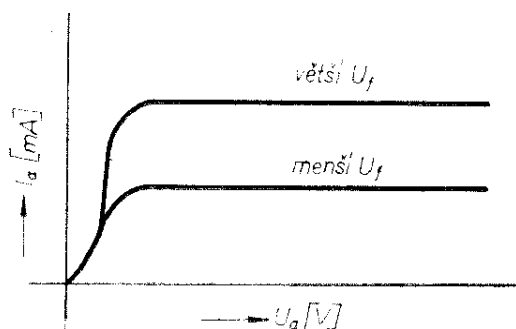
Druhé písmeno znaku udává druh  
elektronky:

- A – dioda (např. EA52).
- B – dvojitá dioda (např. 6B31).
- C – trioda (s výjimkou koncové triody)  
(např. EC86).
- D – koncová (výkonová) trioda (např.  
AD1).
- F – pentoda (s výjimkou koncové pen-  
tody) (např. EF80).
- H – hexoda nebo heptoda (např. 6H31).
- K – oktoda (např. DK96).
- L – koncová pentoda nebo tetroda  
(např. UL84).
- M – indikátor vyladění (světelný indika-  
tor) (např. EM80).
- Y – jednocestný usměrňovač (např.  
EY86).
- Z – dvoucestný usměrňovač (např.  
EZ80).

Je-li za prvními dvěma písmeny další  
písmeno, jde o sdruženou elektronku,  
obsahující více systémů. Např. EBF,  
UBF (dvojitá dioda – pentoda).

Druhá část znaku, která se skládá ze  
skupiny číslic, udává použitou patici a  
postupný vývojový typ.

- 1 až 10 – různé patice P, oktál,  
nožičkové,
- 11 až 15 – patice T,

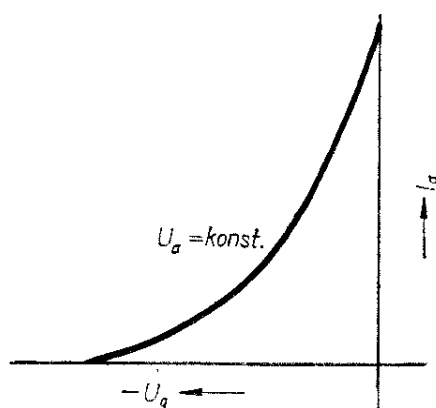


Obr. 17. Anodová charakteristika

- 16 až 19 – patice P, oktal,  
 20 až 29 – patice loktal s výjimkou  
 bateriové řady,  
 30 až 39 – patice oktal,  
 80 až 89 – patice noval,  
 90 až 99 – patice heptal,  
 180 až 189 – patice noval,  
 200 – patice dekal,  
 500 – patice magnoval,  
 800 – patice noval.

Elektronka se dvěma elektrodami se nazývá dioda. Je nejjednodušší elektronkou a je složena z katody a z anody. Proud mezi těmito elektrodami protéká jen tehdy, je-li anoda napájena kladným napětím. Této vlastnosti se využívá k usměrňování střídavého napětí (i vysokého kmitočtu). Závislost anodového proudu na anodovém napětí udává tzv. anodová charakteristika (obr. 17). Anodový proud se zvětšuje nejprve přibližně úměrně s anodovým napětím až do velikosti, kdy se charakteristika zakřivuje a mění v rovnoběžku s osou napětí. Anoda přitom zachycuje všechny elektrony emitované katodou. Většího anodového proudu se dá dosáhnout použitím katody s větší emisní schopností nebo zvýšením teploty katody (větším žhavicím napětím), což je ovšem na úkor doby života elektronky. Na obr. 17 jsou naznačeny dvě anodové charakteristiky pro různá žhavicí napětí.

Trioda je elektronka se třemi elektrodami, katodou, anodou a řídicí mřížkou. Katoda uvolňuje elektrony, řídicí mřížka má obvykle tvar šroubovice a řídí tok elektronů mezi katodou a anodou. Mřížka bývá připojena k zápornému napětí, takže na elektrony emitované katodou působí odpuzivá

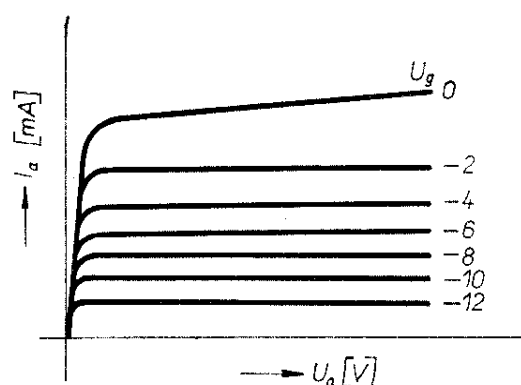


Obr. 18. Převodní charakteristika

síla podle mřížky a přitažlivá síla pole anodového napětí pronikajícího mezerami mezi závity mřížky. Změnou záporného napětí mřížky máme možnost měnit její brzdicí účinek, a tím i velikost anodového proudu. Závislost anodového proudu na napětí mřížky se vyjadřuje tzv. převodní charakteristikou (obr. 18). Tohoto způsobu ovládání anodového proudu změnou mřížkového napětí se využívá k zesilování. Triody můžeme využívat k zesilování nízkofrekvenčních a stejnosměrných signálů a jako oscilátory. Pro zesílení vysokofrekvenčních signálů je běžná trioda méně vhodná.

Elektronka se dvěma mřížkami (tj. celkem se čtyřmi elektrodami) se nazývá tetroda a má mnohem větší zesílení než trioda. Proti triodě má navíc tzv. stínící mřížku, která je určena ke zmenšení průchozí kapacity (tj. kapacity mezi řídicí mřížkou a anodou) a ke zmenšení závislosti zesílení na anodovém napětí. Tetrody se používají např. v koncových stupních vysílačů.

Nejpoužívanější elektronkou je pentoda, je to elektronka s pěti elektrodami: katodou, řídicí mřížkou, stínící mřížkou, brzdicí mřížkou a anodou. Brzdicí mřížka je obvykle spojena s katodou. Na obr. 19 je typický průběh anodových charakteristik (převodní charakteristiky jsou obdobné jako u triody). Pentody se používají v koncových stupních (má nejen velké zesílení, ale i větší účinnost) jako zesilovače napětí nízkého i vysokého kmitočtu, jako demodulátory, oscilátory, směšovače apod.



Obr. 19. Průběhy anodových charakteristik

Elektronkou se šesti elektrodami je hexoda. Je to elektronka s katodou, jednou řídicí mřížkou, jednou stínicí mřížkou, dvěma řídicími mřížkami, dvěma stínicími mřížkami a anodou.

Heptoda je zdokonalená hexoda – pátá mřížka funguje jako brzdicí mřížka pentody. Hexody a heptody se používají obvykle ve směšovačích.

Obrazovka je elektronka sloužící k zobrazení rychle se opakujícího průběhu elektrického napětí. Např. průběh střídavého napětí sítě lze přímo zobrazit jako sinusovku. Provedení obrazovek závisí na účelu, ke kterému je chceme použít. Jsou to obrazovky pro osciloskopy, pro účely televizní apod. Jejich podstata je však stejná. Elektronovou tryskou je vrhán proud elektronů, soustředěný do úzkého svazku, na zářivou látku (luminofor) stínítka obrazovky, kde se pohybová energie elektronů z části promění ve světlo, takže se na stínítku objeví svítící bod. Na své cestě prolétávají elektrony vychylovacím zařízením, kde jsou vychylovány ze své přímočaré dráhy (elektrickým nebo magnetickým polem, jehož intenzita se mění v závislosti na sledovaném ději).

Zcela samostatnou kapitolu tvoří další elektronky, jako např. plynem plněné usměrňovací elektronky, usměrňovací výbojky, vysílací elektronky, snímací elektronky apod. – těmi se zabývat nebudeme, neboť se v běžné praxi používají jen zřídka. Doporučené typy elektronek k prvotnímu osazování jsou v tab. 28 (3. str. obálky).

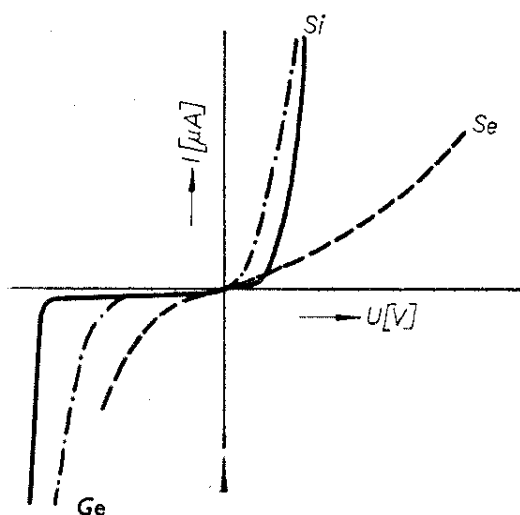
## Polovodičové součástky

Polovodičové prvky, ať už je to germanium, křemík či jiný prvek, svým měrným odporem zaujímají místo mezi kovy a izolanty. Měrný odpor polovodičů závisí na mnoha činitelích, např. na teplotě (s přibývajícím teplotou se měrný odpor zmenšuje, což je, jak dále uvidíme, dosti nepříjemné); dále je měrný odpor závislý např. na osvětlení. Tohoto jevu je využíváno pro výrobu světlocitlivých prvků. Je-li polovodičový prvek vysoce čistý, je jeho vodivost malá, protože jeho krystalická mřížka je plně obsazena. Při výrobě polovodičových prvků se proto úmyslně znečišťují polovodičové prvky různými jinými prvky (ze skupiny trojmocných nebo pětímocných prvků). Přidáním pětímocného prvku vzniknou v krystalu slabě vázané elektrony. Tyto elektrony se přiložením napětí pohybují a na jejich místě vznikají tzv. „díry“, které zase zaplňují další elektrony atd. Tím vzniká v polovodiči proud. Vodivost je způsobena přebytkem elektronů, říkáme jí tedy vodivost elektronová, negativní, typu n. Přidáním trojmocného prvku dochází naopak k vytvoření nosičů kladného náboje, tzv. děr. Tato vodivost se nazývá děrová, pozitivní, typu p. V místě styku materiálu vodivosti p a n vzniká přechod p-n. Tento přechod je základem všech polovodičových součástek. Polovodičová dioda vzniká jedním přechodem p-n, tranzistor dvěma přechody p-n a n-p, čili p-n-p nebo n-p-n. Existují i čtyřvrstvé a pětivrstvé polovodičové součástky. Jsou to tyristory, diaky a triaky.

## Diody

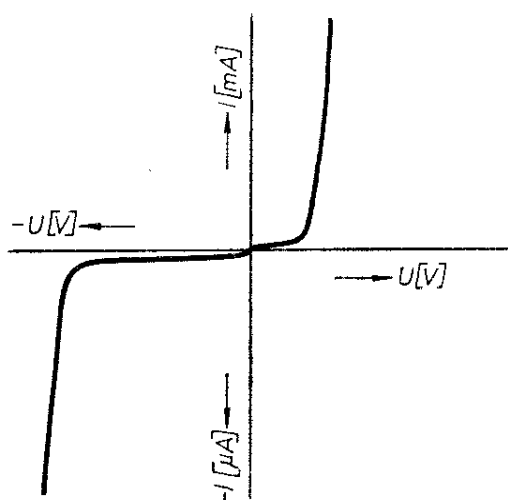
Podstatou činnosti diod je usměrňovací jev. Tento jev je způsoben větší vodivostí v jednom směru oproti směru druhému. Dříve používané selenové a kuproxidové usměrňovače jsou charakterizovány malým závěrným napětím. Aby se získalo větší závěrné napětí, je nutno prvky řadit do série. Tím se však zvětšuje úbytek na-





Obr. 20. Charakteristiky diod Ge, Si a selenu

pětí v propustném směru a zmenšuje se účinnost. Nevýhodou těchto prvků je i nízká dovolená provozní teplota (70 až 80 °C). Byl tedy hledán nový polovodivý prvek, který by tyto nevýhody odstranil – bylo jím germanium. Germaniové diody se používaly dlouhé období. Pro jejich nevýhody (relativně nízká provozní teplota, zanedbatelná odolnost proti přetížení) byl dále hledán vhodný prvek – vznikly křemíkové diody. Křemíkové diody mohou mít vysoké provozní teploty (až 150 °C), mají malý závěrný proud a velké závěrné napětí (až 2 000 V). Jejich nevýhodou je ovšem větší úbytek napětí v propustném směru. Rozdíly v různých druzích usměrňovačů se dají nejlépe znázornit na

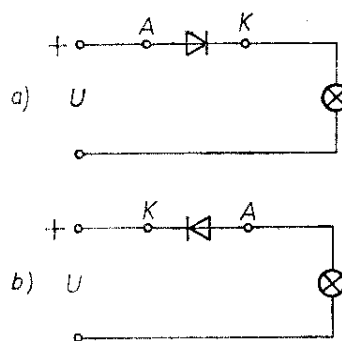


Obr. 21. Charakteristika křemíkové diody

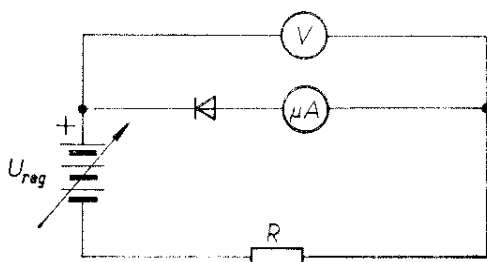
jejich voltampérových charakteristikách (obr. 20). Voltampérová charakteristika křemíkové diody je nakreslena na obr. 21. Charakteristika má dvě části: závěrnou část, propustnou část.

V závěrné části charakteristiky vidíme, že diodou teče v závěrném směru velmi malý proud, pokud se ovšem nepřekročí napětí kolena charakteristiky. Zvětšujeme-li dále napětí, zvětšuje se i proud a to až do úplného zničení diody. Napětí „kolena“ a napětí průrazné se u křemíkových diod prakticky neliší. V propustné části charakteristiky je důležitý zejména mezní propustný proud. Je to největší střední proud, jakým můžeme trvale zatěžovat diodu při stanoveném chlazení. Krátkodobá proudová přetížitelnost křemíkových diod je značně velká. V závěrném směru však můžeme diodu zničit výkonem daleko menším. Je to tím, že v propustném směru se proud rozdělí na celou plochu destičky rovnoměrně, kdežto v závěrném směru je proud soustředěn do nejslabšího místa přechodu. Tím dojde k místnímu přehřátí (až k protavení) systému diody. Tento jev je odstraněn u tzv. lavinové diody. Překročí-li u lavinové diody závěrné napětí velikost průrazného napětí, začne protékat diodou značný proud, aniž by se zničila. Je to způsobeno tím, že u diody dojde k lavinovitému průrazu, takže není možno její systém zonálně přehřát – výkon se rovnoměrně rozdělí na celý systém diody.

Měření diod můžeme rozdělit na měření orientační (zjištění změny funkce diody) a měření jednotlivých základních parametrů. Zda dioda není zcela zničena, lze zjistit snadno podle obr. 22.



Obr. 22. Měření diod



Obr. 23. Měření závěrné charakteristiky

Zapojíme-li diodu do obvodu baterie a žárovky podle obr. 22a, musí žárovka svítit. Nesvítí-li, je dioda přerušena. Zapojíme-li diodu podle obr. 22b, nesmí žárovka svítit. Svítí-li, má dioda zkrat. Tímto měřením lze u neznámé diody určit katodu a anodu. Závěrná charakteristika diody se měří pomocí stejnosměrného zdroje se stabilizovaným proudem nebo obyčejného stejnosměrného zdroje a velkého předřadného odporu podle obr. 23. Z katalogu zjistíme pro daný typ diody maximální závěrný proud. Napětí zvětšujeme od nuly až po hranici, kdy proud dosáhne maximální velikosti podle katalogu. Zjištěné napětí je tzv. maximální závěrné napětí, které je možno trvale přivádět na diodu. Charakteristika v propustném směru se obvykle nemění – stačí změřit úbytek napětí na diodě v předním směru (asi 0,8 až 1,1 V u křemíku).

Diody můžeme řadit jak sériově, tak paralelně. Sériově řadíme diody k získání většího závěrného napětí. Musíme ovšem zajistit rovnoměrné rozdělení napětí na jednotlivé diody. Na rovnoměrné rozdělení napětí má vliv rozdíl v odporu diod v závěrném směru, rozptyly komutačních dob a vlastní kapacity přechodů. Rozdíl v odporech vyrovnáme zařazením paralelních odporů k diodám. Odpor vypočítáme dostatečně přesně ze vzorce:

$$R = \frac{I}{I_1} \left( U_1 - \frac{U - U_1}{n - 1} \right) \quad [\Omega, A, V],$$

kde  $I_1$  je zbytkový proud při daném katalogovém napětí,  $U_1$  největší katalogové závěrné napětí,  $U$  přiváděné špičkové napětí,  $n$  počet diod.

Počet diod pro dané přiváděné napětí je dán vztahem

$$n = 1 + (U/U_1) \quad [—; V].$$

Výkonovou zatížitelnost odporů vypočteme z Ohmova zákona. Rozptyly komutačních dob vyrovnáme zařazením paralelních kondenzátorů k diodám. Kapacitu kondenzátorů vypočteme empirického vzorce

$$C = 180/(7U_1 - U) \quad [\mu F; V].$$

Vlastní kapacita přechodů se uplatňuje pouze v soustavě několika desítek sériově zapojených diod. Paralelní odpory a kondenzátory připojujeme vždy do těsné blízkosti diod. Použijeme-li k sériovému řazení lavinové diody, přicházejí při konstrukci v úvahu pouze komutační kondenzátory. Komutační kondenzátory připojujeme k diodám jen v případě, je-li zatěžující proud větší než 15 % jmenovitého zatěžovacího proudu diod.

Paralelní řazení diod používáme tehdy, je-li odebíraný proud větší než jmenovitý proud jedné diody. Předpokladem je rovnoměrné rozdělení proudů do jednotlivých diod. Protože však diody mohou mít rozdíl v propustné charakteristice, připojujeme ke každé diodě do série vyrovnávací odpor. Konstrukčně musí být diody uspořádány tak, že všechny musí mít společný chladič. Na vyrovnávacích odporech se ovšem značně zvětší ztráty. Z tohoto důvodu se paralelní řazení diod v amatérské praxi neužívá.

Ztráty v polovodičových diodách se přeměňují v teplo. Toto teplo se u výkonnějších diod nemůže rozptýlit do okolí povrchem vlastní diody. Aby se ztrátové teplo rozvedlo do okolí, je nutno výkonové diody upevňovat na chladiče. U diody s malým výkonem postačí jako chladič hliníková deska. U diod výkonnějších je nutná montáž na žebrované chladiče. Při montáži je důležité dodržet malý teplotní odpor mezi základnou diody a chladičem. Chladič proto musí v co největší ploše přiléhat na základnu diody. Při konstrukci zařízení je vhodné diodu umístit do středu chladiče. Desku je nutno montovat svisle, aby vzduch mohl kolem ní volně proudit. Plocha chladiče se zpravidla uvádí v katalogu.

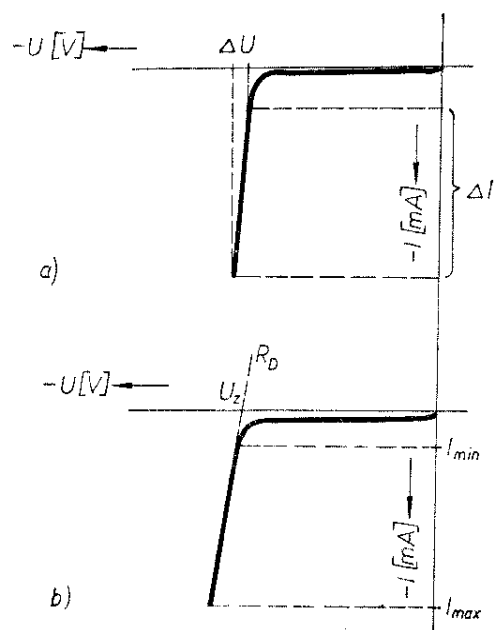
Tab. 29. Detekční diody

Typ	Druh	$I_{AK}$ [mA] při $U_{AK}$ [V]		$T_a$ [°C]	$U_{KAM}$ [V]	$I_{AKM}$ [mA]	Barevný proužek
GA200	Ge	2,5	1	25	55	150	hnědý
GA201	Ge	5	1	60	25	25	bílý
GA202	Ge	5	1	60	40	25	žlutý
GA203	Ge	5	1	25	75	75	modrý
GA204	Ge	5	1	25	140	75	zelený
GA205	Ge	5	1	60	25	25	červený
2 × GA206	Ge	5	1	60	40	10	fialový
GA207	Ge	1,5	> 1,5	25	25		khaki
OA5	Ge	10	0,4	25	100	350	
OA7	Ge	10	0,43	25	25	50	
OA9	Ge	10	0,32	25	25	500	
KA290	Si	0,5	< 0,5	25	2	25	bílý

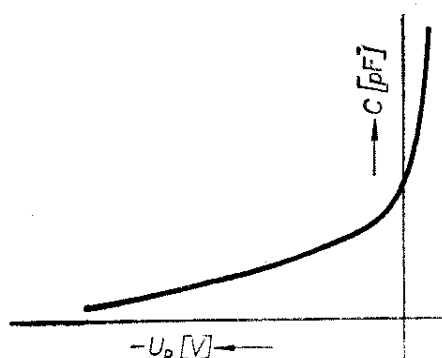
Zenerovy diody jsou diody, u nichž využíváme velkého zvětšení proudu při nepatrném zvětšování napětí v závěrném směru nad oblastí kolena (viz obr. 24a). Tohoto jevu se využívá ke stabilizaci napětí. Zenerovy diody jsou konstrukčně upraveny tak, aby přímka (obr. 24b), která je definována jako dynamický odpor  $R_d$ , byla co nejstrmější. Z obr. 24 je zřejmé, že čím strmější bude přímka, tím prudčeji se bude zvětšovat závěrný proud při zvětšování napětí. Zenerovy diody se rozdělují podle závěrného napětí a ztrátového výkonu.

Kapacitní dioda (čili varikap) je dioda, u níž se využívá napěťové závislosti kapacity přechodu. Žvětšujeme-li napětí přivedené na diodu v závěrném směru, kapacita přechodu se zmenšuje. Závislost kapacity na napětí probíhá podle obr. 25. Přiložíme-li na varikap napětí v propustném směru, kapacita se prudce zvětšuje, činitel jakosti se však prudce zmenšuje (obr. 26). Použití vari-

kapů je výhodné, protože kapacita se mění s napětím, čili veličinou též elek-



Obr. 24. Charakteristika Zenerovy diody



◀ Obr. 25. Závislost kapacity na napětí (u varikapu)

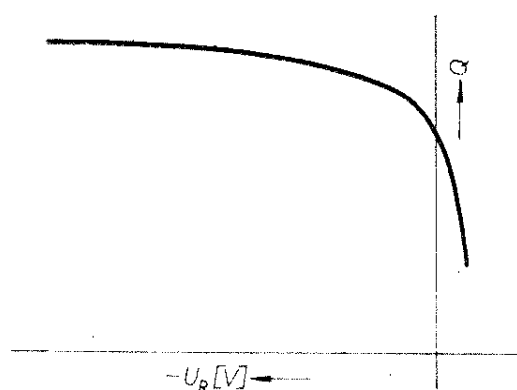
trickou. Naproti tomu při použití otočného kondenzátoru je převáděna mechanická energie na elektrickou.

K přeměně světelné energie na elektrickou používáme světlocitlivé prvky, např. fotodiody. Polovodičové fotodiody můžeme rozdělit podle použití na fotodiody hradlové a odporové. Hradlová fotodioda je zdrojem napětí, které vzniká osvětlením přechodu, u odporové

Tab. 30. Spinací diody

Typ	Druh	$I_{AK}$ [mA] při $U_{AK}$ [V]		$U_{KAM}$ [V]	$I_{AKM}$ [mA]	$P_{tot}$ [mW]	$T_j$ [°C]	Barev. prouž.
KA200	Si	3	0,65	12	100	300	150	černý zelený
KA221	Si	> 150	1	35	750	500	175	červený hnědý
KA222	Si	> 500	1	35	750	500	175	červený červený
KA223	Si	> 100	1	25	750	500	175	červený oranžový
KA224	Si	> 200	1	25	750	500	175	červený žlutý
KA225	Si	> 150	1	50	750	500	175	červený zelený
KA227	Si	3	0,65 až 0,8	12	500	300	150	žlutý
KA236	Si	100	< 1	50		160	125	
KA243	Si	100	< 1	20		160	125	červený žlutý oranžový
KA244	Si	100	< 1	20		160	125	
KA501	Si	9	< 1	55	50	150	175	žlutý
KA502	Si	9	< 1	125	50	150	175	zelený
KA503	Si	9	< 1	225	50	150	175	modrý
KA504	Si	9	< 1	125	50	150	175	
GAZ51	Ge	10	0,4	25	140		75	





Obr. 26. Závislost činitele jakosti na napětí

fotodiody se mění odpor v závěrném směru v závislosti na osvětlení. Fotodiody se používají např. pro různé světelné spínače, ke snímkování zvukového doprovodu filmu, k měření osvitů, osvětlení atp.

Při práci s diodami musíme mít vždy na paměti to, že diody nesnášejí větší teplotu než 155 °C (na přechodu). Vlastní systém diody snese daleko větší teplotu, avšak připájené přívody, případně systém připájený na základnu větší teplotu bez poškození nevydrží. Proto se nedoporučuje zkracovat vývodní drátky diod. Čím má ovšem dioda kratší vývody, tím lépe odvádí ztrátové teplo a zlepšuje se chlazení a výkonová

zatížitelnost. Je proto dobré vývody zkrátit na potřebnou míru a při pájení je podržet kleštičkami nebo pinzetou. Při použití výkonových diod a jejich montáži na chladiče je bezpodmínečně nutné, aby plocha chladiče byla rovná. Není-li to zaručeno, vypomáháme si tím, že diodu podložíme podložkou z olověného plechu. Tím se případné nerovnosti odstraní, neboť olověná podložka pevně přilne celou plochou. Při zhotovování chladičů k můstkovým usměrňovačům je vhodné použít dva kusy běžných a dva kusy reverzovaných diod. Tím se počet chladičů zmenší na dva po dvou diodách. U diod typu KA501 až 503 se vyplatí před jejich použitím zjistit, zda katoda je správně označena červeným bodem. Často se u tohoto typu stává, že elektrody diody jsou označeny špatně.

### Tranzistory

Tranzistory jsou vytvořeny ze dvou přechodů p-n. Způsobů vytváření přechodů je několik a podle technologie se též mění vlastnosti tranzistorů. Nejjednodušší tranzistory jsou slitinové. Při jejich výrobě tvoří báze základnu a sléváním je vytvářen kolektor a emitor. Tranzistor má pak velké kapacity přechodů a jeho mezní kmitočet je proto

Tab. 31. Kapacitní diody

Typ	Druh	$C_{tot1} : C_{tot2}$	$C_{tot}$ [pF] při $U_R = 25$ V	$C_{tot}$ [pF] při $U_R = 3$ V	$C_{tot}$ [pF] při $U_R = 1$ V	$U_R$ [V]	$r_s$ [Ω]
KA201	Si	0,69 < 0,74 <sup>2)</sup>		15 až 30 <sup>4)</sup>		20	1,6 < 3
KA202	Si	0,69 < 0,74 <sup>2)</sup>		25 až 50 <sup>4)</sup>		20	1,6 < 3
KA204	Si	2,4 až 2,7 <sup>3)</sup>	3,8 až 5,5			20	1,6 < 2
KB105A	Si	4 až 5 <sup>1)</sup>	17	11,5	2,3 až 2,8	28	< 0,8
KB105B	Si	4,5 až 6 <sup>1)</sup>	17,5	11,5	2 až 2,3	28	< 0,8
KB105G	Si	4 až 6 <sup>1)</sup>	17,5	11,5	1,8 až 2,8	28	< 0,8

1) při  $U_{R1} : U_{R2} = 3 : 25$

2) při  $U_{R1} : U_{R2} = 10 : 4$

3) při  $U_{R1} : U_{R2} = 3 : 30$

4)  $U_R = 4$  V

5)  $U_R = 30$  V

Tab. 32. Usměrnovací diody (TESLA Piešťany)

Typ	$U_{KA}$ [V] při $I_{KA}$ [mA]		$I_{AK}$ [A]	$U_{KA}$ ef [V]	$I_{AKM}$ [A] 3)	Poznámka
KY701F	80	350 1)	0,7 2)	24	6	$R_{ochr} = 0,8 \Omega$
KY702F	150	350 1)	0,7 2)	40	6	$R_{ochr} = 1,5 \Omega$
KY703F	250	350 1)	0,7 2)	60	6	$R_{ochr} = 2,5 \Omega$
KY704F	400	350 1)	0,7 2)	120	6	$R_{ochr} = 4 \Omega$
KY705F	700	350 1)	0,7 2)	220	6	$R_{ochr} = 7 \Omega$
KY706F	1 000	350 1)	0,7 2)		6	$R_{ochr} = 11 \Omega$
KY708	100	60	10	30	40	
KY710	200	60	10	60	40	
KY711	300	60	10	90	40	
KY712	400	60	10	120	40	
KY715	100	100	20	30	70	
KY717	200	100	20	60	70	
KY718	300	100	20	40	70	
KY719	400	100	10	120	70	
KY721F	80	350 1)	1 2)	24	10	$R_{ochr} = 0,8 \Omega$
KY722F	150	350 1)	1 2)	40	10	$R_{ochr} = 1,5 \Omega$
KY723F	250	350 1)	1 2)	60	10	$R_{ochr} = 2,5 \Omega$
KY724F	400	350 1)	1 2)	120	10	$R_{ochr} = 4 \Omega$
KY725F	700	350 1)	1 2)	220	10	$R_{ochr} = 7 \Omega$
KY726F	1 000	350 1)	1 2)		10	$R_{ochr} = 11 \Omega$
KYZ70	50	100	20	15	70	
KYZ71	100	100	20	30	70	
KYZ72	200	100	20	60	70	
KYZ73	300	100	20	90	70	
KYZ74	400	100	20	120	70	
KYZ75	50	100	20	15	70	
KYZ76	100	100	20	30	70	
KYZ77	200	100	20	60	70	
KYZ78	300	100	20	90	70	
KYZ79	400	100	20	120	70	
KY130/80	80	10	0,3	24	100	označení zelené
KY130/150	150	10	0,3	40	180	označení modré
KY130/300	300	10	0,3	90	360	označení červené
KY130/600	600	10	0,3	180	720	označení bílé
KY130/900	900	10	0,3		1 100	označení žluté
KY130/1000	1 000	10	0,3		1 250	označení šedé

1)  $T_a = 125^\circ\text{C}$ 2)  $T_a = 55^\circ\text{C}$ 3)  $f = 50 \text{ Hz}$ , sinusový průběh

Tab. 33. Zenerovy diody

Typ	$U_Z$ [V]	$r_{KA}$ [ $\Omega$ ]	$I_Z$ [mA]	$I_{ZM}$ [mA] 3)	$P_d$ [W]	$T_j$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$K_t$ při $I_Z$ [ $\cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}$ ]
1NZ70	5 až 6	$1 < 2$	100	790	1,25 1)	150	—3 až 0,5
2NZ70	6 až 7	$1 < 2$	100	700	1,25 1)	150	0 až 0,5
3NZ70	7 až 8	$1 < 2$	100	640	1,25 1)	150	2 až 7
4NZ70	8 až 9	$1 < 2$	100	590	1,25 1)	150	4 až 7
5NZ70	8,8 až 11	$2 < 4$	50	460	1,25 1)	150	4 až 8
6NZ70	11 až 13,5	$4 < 7$	50	340	1,25 1)	150	4 až 8
7NZ70	13,5 až 16,5	$6 < 11$	50	300	1,25 1)	150	5 až 9
8NZ70	16,2 až 20	$10 < 18$	25	250	1,25 1)	150	5 až 9
KZ299	30 až 1,8		25	250	1,25 1)	150	
KZ703	6 až 7,8	$< 1$	1 000	1 300	2,6 2)	155	5
KZ704	7 až 9,2	$< 1$	1 000	1 100	2,6 2)	155	5
KZ705	8 až 10,2	$< 2$	500	970	2,6 2)	155	7
KZ706	9,4 až 11,6	$< 2$	500	850	2,6 2)	155	7
KZ707	10,6 až 13,2	$< 2$	500	750	2,6 2)	155	7
KZ708	12 až 14,8	$< 2$	500	670	2,6 2)	155	8
KZ709	13,6 až 16,8	$< 3$	500	600	2,6 2)	155	8
KZ710	15,2 až 19	$< 3$	500	530	2,6 2)	155	8
KZ711	16,8 až 21	$< 3$	250	470	2,6 2)	155	9
KZ712	19 až 23,6	$< 3$	250	420	2,6 2)	155	9
KZ713	21,6 až 26,6	$< 3$	250	370	2,6 2)	155	9
KZ714	24,2 až 29,8	$< 4$	250	330	2,7 2)	155	9
KZ715	27 až 33	$< 4$	250	300	2,6 2)	155	9
KZ721	5,6 až 7,8	$\leq 10$	5	36	0,28	155	7
KZ722	6,8 až 9,4	$\leq 10$	5	30	0,28	155	7
KZ723	8,4 až 11,8	$\leq 20$	5	23	0,28	155	8
KZ724	9,8 až 14	$\leq 10$	5	20	0,28	155	10
KZ751	58 až 66	80	10	150	3 2)	155	10
KZ752	64 až 72	80	10	138	3 2)	155	10
KZ753	71 až 79	80	10	125	3 2)	155	10
KZ754	77 až 88	80	10	110	3 2)	155	10
KZ755	85 až 96	80	10	100	3 2)	155	10
KZZ45	10,8	$\leq 32$	5	4/		125	0,1
KZZ46	10,8	$\leq 32$	5	4/		125	0,5
KZZ47	10,8	$\leq 50$	5	4/		125	1
KZZ71	5,8 až 7,5	$\leq 8$	5	36	0,28	155	—1 až 7
KZZ72	6,8 až 8,4	$\leq 6$	5	33	0,28	155	0 až 7
KZZ73	7,8 až 9,4	$\leq 10$	5	30	0,28	155	2 až 8
KZZ74	8,8 až 10,5	$\leq 12$	5	26	0,28	155	4 až 9
KZZ75	9,8 až 12	$\leq 15$	5	23	0,28	155	4 až 9,5
KZZ76	10,8 až 14	$\leq 18$	5	20	0,28	155	5 až 9,5

Typ	$U_Z$ [V]	$r_{KA}$ [ $\Omega$ ]	$I_Z$ [mA]	$I_{ZM}$ [mA]	$P_d$ [W]	$T_j$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$K_t$ při $I_Z$ $\cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}$
KZZ81	7,5 až 9	< 15	20	100			$1 \cdot 10^{-3}$
KZZ82	7,5 až 9	< 15	20	100			$1 \cdot 10^{-2}$
KZZ83	7,5 až 9	< 15	20	100			0,1

- 1) s chladič plochou 5 W  
2) s chladič plochou 10 W

- 3) s chladič plochou  
4) proud je uveden na každé diodě

Tab. 34. Usměrňovací diody (ČKD)

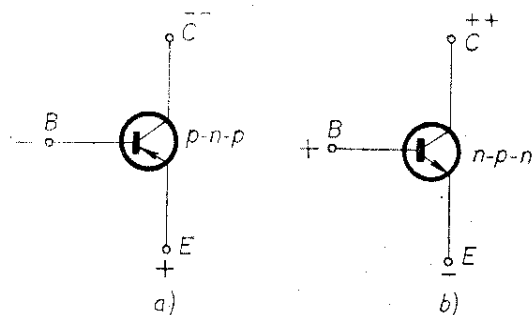
Typ <sup>2)</sup>	$I_{AK}$ [A]	$I_{AKM}$ [A] 1)	$U_{AK}$ [V]	$I_{KA}$ [mA]	Rozsah provoz. teplot [ $^{\circ}\text{C}$ ]
D25	25	525	0,6	8	—50 až +140
D63	63	1800	0,55	50	—50 až +140
D100	100	2750	0,55	40	—50 až +140
D160	160	3600	0,55	20	—50 až +140
D200	200	4500	0,58	20	—50 až +140

- 1) Impuls 10 ms,  $T_a = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$

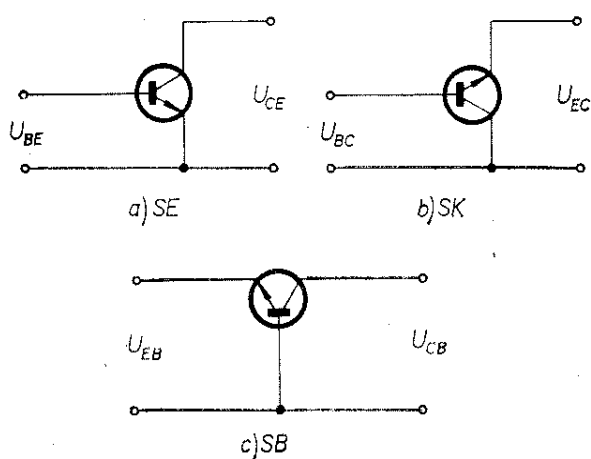
- 2) Napětí  $U_{KA}$  se udává přímo v typu diody, např. dioda D25/1000 má  $U_{KA} = 1\,000 \text{ V}$

nízký. Typickým představitelem jsou tranzistory typu GC. Částečným vylepšením jsou difúzně slitinové tranzistory. Ty mají bázi nehomogenní, vytvořenou difúzí. Tloušťka báze je tudíž velmi malá. Menší kapacity přechodů se dosáhne částečným odleptáním přechodů. Touto technologií se dají vyrobit tranzistory s mezním kmitočtem 150 až 200 MHz. Tranzistory s ještě vyšším mezním kmitočtem jsou většinou typu mesa. Mají nehomogenní bázi a emitorový přechod se vytváří sléváním napařené vrstvy hliníku a vrstvou napařené báze. Malé kapacity přechodů se opět dosáhne odleptáním značné části přechodu. Představitelem tohoto typu je tranzistor GF507. Těchto technologií se užívá při výrobě germaniových tranzistorů. Křemíkové tranzistory mohou např. být epitaxní typu mesa, základem je vrstva s velkým odporem vzniklá epitaxním růstem. Přechody se získávají difúzí. Představitelem tohoto druhu je např. tranzistor KU605. Tato technologie je vhodná především pro výkonové tranzistory. Tranzistory menšího výkonu se vytvářejí planární a planárně

epitaxní technologií. Základní materiál vytváří kolektor. Báze je nehomogenní a je vytvořena difúzí. Emitor se vytváří difúzí do báze. Představitelem tohoto typu je tranzistor KF508. Planárně epitaxní technologie je obdobná. Na vrstvě s malým měrným odporem se epitaxním růstem vytvoří vrstva s velkým měrným odporem. Do této vrstvy se nadifundují báze a emitor. Typickým představitelem je tranzistor KF504. Křemíkové tranzistory a integrované obvody se vytvářejí většinou planárně epitaxní technologií.



Obr. 27. Tranzistor p-n-p a n-p-n



Obr. 28. Základní zapojení tranzistoru

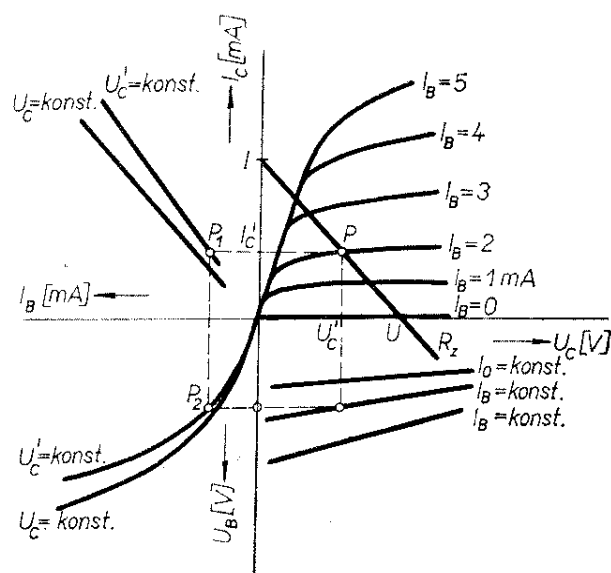
Tranzistory se dají rozdělovat do několika skupin. Rozdělujeme je např. podle materiálu na křemíkové a germaniové, podle ztrátového výkonu (s malým výkonem, středním výkonem a výkonové) a podle mezního kmitočtu na nízkofrekvenční a vysokofrekvenční. Podle druhu vodivosti rozdělujeme tranzistory do dvou skupin n-p-n a p-n-p. Ukážeme si tři základní zapojení tranzistorů

- se společným emitorem,
- se společným kolektorem,
- se společnou bází.

Každé z těchto zapojení má své výhody a nevýhody. Zapojení se společným emitorem (obr. 28a) má vstupní odpor 500 až 1 000  $\Omega$  a výstupní odpor 10 až 20 k $\Omega$ . Proudový zesilovací činitel bývá v rozmezí 10 až 500 (i více) podle druhu tranzistoru. Výstupní napětí je v protifázi se vstupním napětím. Zapojení se společným kolektorem (obr. 28b) má velký vstupní odpor, který vypočteme násobením zatěžovacího odporu  $R_z$  proudovým zesilovacím činitelem. Výstupní odpor je malý. Výstupní napětí je se vstupním ve fázi. Toto zapojení se někdy nazývá emitorový sledovač (výstupní napětí sleduje vstupní napětí). Používá se k dosažení nezávislosti výstupního napětí na zatěžovacím odporu  $R_z$ . Zapojení se společnou bází (obr. 28c) má vstupní odpor velmi malý, 50 až 100  $\Omega$ , výstupní odpor bývá až řádu megaohmů. Zapojení je vhodné k získání velkého napěťového zesílení. Používá

se hlavně ve vysokofrekvenčních obvodech.

Protože nejvíce používané je zapojení se společným emitorem, budeme z něho vycházet v dalším výkladu. Abychom pochopili správně činnost různých obvodů s tranzistory, musíme nejprve bezpečně znát činnost tranzistoru samého. Na obr. 29 jsou statické charakteristiky tranzistorů. V pravém horním kvadrantu je uvedena závislost kolektorového proudu  $I_C$  na kolektorovém napětí  $U_C$ . Křivky je několik, vždy pro stálý proud do báze. V levém horním kvadrantu je závislost proudu kolektoru  $I_C$  na proudu báze  $I_B$  při konstantním  $U_C$ . V levém dolním kvadrantu je uvedena závislost proudu báze  $I_B$  na napětí báze  $U_B$ . V posledním kvadrantu je uvedena závislost napětí  $U_B$  na  $U_C$ . Všimneme-li si podrobněji výstupní charakteristiky vidíme, že ji můžeme rozdělit do několika částí. Nejprve při nulovém proudu báze je tranzistor uzavřen, takže jím protéká proud  $I_C$ , který se rovná zbytkovému proudu tranzistoru  $I_{C0}$ . Při  $I_B = 0$  pozorujeme, že se prudce zvětšuje kolektorový proud v závislosti na napětí  $U_{CE}$  až do oblasti kolena. Tato část charakteristiky se nazývá oblast nasycení. Za kolenem prochází křivka částí, kterou nazýváme lineární (nebo aktivní) oblast. Tato část je omezena maximálním ko-



Obr. 29. Statické charakteristiky tranzistoru

ektorovým proudem. Po této části vstupuje křivka do oblasti průrazu tranzistoru, kde se proud prudce zvětšuje až dojde k lavinovitému průrazu. V oblasti nevodivého stavu je důležitým parametrem tzv. zbytkový proud  $I_{CE0}$ . Dále je u tranzistoru důležitým para-

metrem tzv. proudový zesilovací činitel  $h_{21E}$ , jinak označovaný  $\beta$ . Pro tento parametr platí vzorec

$$\beta = \frac{I_C + I_{CE0}}{I_B - I_{CB0}} \doteq \frac{I_C}{I_B}.$$

Proudový zesilovací činitel se udává při

Tab. 35. Germaniové tranzistory n-p-n

Typ	$h_{21E}$	$U_{CE}$ [V]	$U_{CB}$ [V]	$I_C$ [mA]	$P_C$ [mW]	$T_J$ [°C]	$R_{th}$ [°C/mW]
101NU70	20 až 100 5)	20	10	3	30	75	0,5
102NU70	20 až 100 5)	25	20	5	50	75	0,5
103NU70	20 až 100 5)	26	20	5	50	75	0,5
104NU70	20 až 100 5)	25	20	5	50	75	0,5
106NU70	30 až 75 4)	30 1)	32	10	125	75	0,4
107NU70	65 až 130 4)	30 1)	32	10	125	75	0,4
101NU71	40 až 100 3)	30 1)	30	250	165 2)	75	0,3
102NU71	65 až 220 3)	30 1)	30	250	165 2)	75	0,3
103NU71	45 až 200 3)	48 1)	48	250	165 2)	75	0,3
104NU71	45 až 120 3)	20 1)	20	250	165 2)	75	0,3
GC526	55 5)	32 6)	32	125	130	75	45 7)
GC527	80 5)	32 6)	32	125	130	75	45 7)
GC520	50 až 250 10)	16	32	1 000	1 000 8)	90	45 7)
GC521	100 až 500 10)	15	25	1 000	1 000 8)	90	45 7)
GC522	50 až 500 10)	15	20	1 000	1 000 8)	90	45 7)
GD607	30 až 180 9)	32	32	1 000	4 000	90	7,5 7)
GD608	100 až 500 9)	18	25	1 000	4 000	90	7,5 7)
152NU70	20 až 100 11)	6	10	5	50	75	1
153NU70	20 až 40 11)	6	10	5	50	75	1
154NU70	20 až 100 11)	6	10	5	50	75	1
155NU70	25 až 125 5)	15	15	10	83	75	0,6
156NU70	45 až 225 5)	15	15	10	83	75	0,6
105NU70	20 až 40 4)	30	32	10	125	75	0,4
GD609	30 až 500	16	20	1 000	4 000	90	7,5 7)

1)  $R_{BE} < 0,6 \text{ k}\Omega$

2) s chladič plochou  $12,5 \text{ cm}^2$

3)  $U_{CB} = 6 \text{ V}$ ,  $I_E = 10 \text{ mA}$

4)  $U_{CE} = 2 \text{ V}$ ,  $I_C = 3 \text{ mA}$

5)  $U_{CE} = 5 \text{ V}$ ,  $I_C = 1 \text{ mA}$

6)  $R_{BE} < 500 \Omega$

7) jednotky [°C/W]

8) s ideálním chlazením

9)  $U_{CB} = 0 \text{ V}$ ,  $I_E = 50 \text{ mA}$

10)  $U_{CB} = 0 \text{ V}$ ,  $I_E = 300 \text{ mA}$

11)  $U_{CB} = 5 \text{ V}$ ,  $I_C = 0,5 \text{ mA}$

daném napětí  $U_{CE}$  a proudu  $I_C$ . Při maximální velikost napětí  $U_{CBmax}$  a použití tranzistorů je důležité znát též  $U_{CEmax}$ . Toto napětí je udáno v katalogu

Tab. 36. Germaniové tranzistory malého výkonu p-n-p

Typ	$U_{CB}$ [V]	$U_{CE}$ [V]	$h_{21e}^{*)}$ při $U_{CE}$ [V] a $I_C$ [mA]			$I_C$ [mA]	$P_C$ [mW]	$T_J$ [°C]
OC70	32	30 <sup>1)</sup>	20 až 40	2	0,5	10	125	75
OC71	32	30	30 až 75	2	3	10	125	75
OC72	32	30 <sup>3)</sup>	30 až 90 <sup>4)</sup>	0,7	80	50	125	75
OC75	32	30 <sup>1)</sup>	65 až 130	2	3	10	125	75
OC76	32	30 <sup>1)</sup>	30 až 230 <sup>4)</sup>	0,7	80	125	125	75
OC77	60	60 <sup>5)</sup>	30 <sup>4)</sup>	0,7	80	125	125	75
GC500	24	24 <sup>5)</sup>	> 5 <sup>6)</sup>	6	50	300	550	75
GC501	24	24 <sup>5)</sup>	> 10 <sup>6)</sup>	6	20	300	550	75
GC502	32	32	> 10 <sup>6)</sup>	6	50	300	550	75
GC507	32	32 <sup>1)</sup>	45 až 120	6	10	125	125	75
GC508	32	32 <sup>1)</sup>	65 až 220	6	10	125	125	75
GC509	60	60 <sup>1)</sup>	> 45	6	10	125	125	75
GC510	32	16	60 až 175	0 <sup>7)</sup>	300 <sup>8)</sup>	1 000	1 000 <sup>9)</sup>	90
GC511	25	15	100 až 500	0 <sup>7)</sup>	300 <sup>8)</sup>	1 000	1 000 <sup>9)</sup>	90
GC515	32	32 <sup>5)</sup>	20 až 40	6	1	125	125	75
GC516	32	32 <sup>5)</sup>	30 až 60	6	1	125	125	75
GC517	32	32 <sup>5)</sup>	50 až 100	6	1	125	125	75
GC518	32	32 <sup>5)</sup>	75 až 150	6	1	125	125	75
GC519	32	32 <sup>5)</sup>	125 až 250	6	1	125	125	75
OC169	20	20	20 až 300	6	1	10	50	75
OC170	20	20	20 až 300	6	1	10	50	75
GF501	24	12	> 3 <sup>6)</sup>	9 <sup>7)</sup>	10 <sup>8)</sup>	100	300	100
GF502	24	12	> 3 <sup>6)</sup>	9 <sup>7)</sup>	10 <sup>8)</sup>	100	300	100
GF503	24	9	> 3 <sup>6)</sup>	9 <sup>7)</sup>	10 <sup>8)</sup>	100	300	100
GF504	28	12	> 3 <sup>6)</sup>	9 <sup>7)</sup>	10 <sup>8)</sup>	100	300	100
GF505	24	18	> 1,7 <sup>6)</sup>	12 <sup>7)</sup>	1 <sup>8)</sup>	10	60	90
GF506	24	18	> 1,7 <sup>6)</sup>	12 <sup>7)</sup>	1 <sup>8)</sup>	10	60	90
GF507	20	15	> 2,5 <sup>6)</sup>	12 <sup>7)</sup>	1,5 <sup>8)</sup>	10	60	90

<sup>1)</sup>  $R_{BE} < 0,6 \text{ k}\Omega$

<sup>2)</sup>  $f = 1 \text{ kHz}$

<sup>3)</sup>  $R_{BE} < 1 \text{ k}\Omega$

<sup>4)</sup>  $h_{21E}$

<sup>5)</sup>  $R_{BE} < 0,4 \text{ k}\Omega$

<sup>6)</sup> s ideálním chlazením

<sup>7)</sup>  $U_{CE}$

<sup>8)</sup>  $I_B$

<sup>9)</sup>  $f = 100 \text{ kHz}$

výrobce. Příпустné napětí  $U_{CE}$  se uvádí s odporem  $R_B$ , zapojeným mezi bází a emitor při daném proudu  $I_{CE0}$ . Dalším důležitým parametrem je maxi-

Tab. 37. Germaniové tranzistory p-n-p

Typ	$U_{CB}[V]$	$U_{CE}[V]$	$h_{21e}$ při $U_{CE} [V]$ a $I_C [mA]$			$I_C[mA]$	$P_{tot} [W]$	$T_J [^{\circ}C]$	$R_{td} [^{\circ}C/W]$
GD617	32	32 <sup>1)</sup>	55 až 180	0 <sup>2)</sup>	50 <sup>3)</sup>	1	4	90	7,5
GD618	25	25 <sup>1)</sup>	160	0 <sup>2)</sup>	50 <sup>3)</sup>	1	4	90	7,5
GD619	25	25 <sup>1)</sup>	30	0 <sup>2)</sup>	50 <sup>3)</sup>	1	4	90	7,5
OC26	32	32 <sup>4)</sup>	25 až 75	6	100	3,5	12,5	90	1,2
OC27	32	32 <sup>4)</sup>	60 až 180	6	100	3,5	12,5	90	1,2
OC30	32	32 <sup>1)</sup>	18 až 110	6	100	1,4	4	75	7,5
2NU72	24	24 <sup>5)</sup>	10	0 <sup>2)</sup>	1 500 <sup>3)</sup>	1,5	4	75	7,5
3NU72	32	32 <sup>5)</sup>	10	0 <sup>2)</sup>	1 500 <sup>3)</sup>	1,5	4	75	7,5
4NU72	48	48 <sup>5)</sup>	10	0 <sup>2)</sup>	1 500 <sup>3)</sup>	1,5	4	75	7,5
5NU72	60	60 <sup>5)</sup>	10	0 <sup>2)</sup>	1 500 <sup>3)</sup>	1,5	4	75	7,5
2NU73	24	24 <sup>4)</sup>	10	0 <sup>2)</sup>	3 000 <sup>3)</sup>	3,5	12,5	90	1,8
3NU73	32	32 <sup>4)</sup>	10	0 <sup>2)</sup>	3 000 <sup>3)</sup>	3,5	12,5	90	1,8
4NU73	48	48 <sup>4)</sup>	10	0 <sup>2)</sup>	3 000 <sup>3)</sup>	3,5	12,5	90	1,8
5NU73	60	60 <sup>4)</sup>	10	0 <sup>2)</sup>	3 000 <sup>3)</sup>	3,5	12,5	90	1,8
6NU73	70	70 <sup>4)</sup>	10	0 <sup>2)</sup>	3 000 <sup>3)</sup>	3,5	12,5	90	1,8
7NU73	80	80 <sup>4)</sup>	10	0 <sup>2)</sup>	3 000 <sup>3)</sup>	3,5	12,5	90	1,8
2NU74	50	32 <sup>4)</sup>	20 až 60	0 <sup>2)</sup>	10 000 <sup>3)</sup>	15	50	100	1,2
3NU74	50	32 <sup>4)</sup>	50 až 130	0 <sup>2)</sup>	10 000 <sup>3)</sup>	15	50	100	1,2
4NU74	60	48 <sup>4)</sup>	20 až 60	0 <sup>2)</sup>	10 000 <sup>3)</sup>	15	50	100	1,2
5NU74	60	48 <sup>4)</sup>	50 až 130	0 <sup>2)</sup>	10 000 <sup>3)</sup>	15	50	100	1,2
6NU74	90	70 <sup>4)</sup>	20 až 60	0 <sup>2)</sup>	10 000 <sup>3)</sup>	15	50	100	1,2
7NU74	90	70 <sup>4)</sup>	50 až 130	0 <sup>2)</sup>	10 000 <sup>3)</sup>	15	50	100	1,2

<sup>1)</sup>  $R_{be} < 0,5 \text{ k}\Omega$

<sup>2)</sup>  $U_{CB}$

<sup>3)</sup>  $I_E$

<sup>4)</sup>  $R_{BE} < 30 \Omega$

<sup>5)</sup>  $R_{BE} < 100 \Omega$



mální ztrátový výkon tranzistoru  $P_{tot}$  a maximální přípustný kolektorový proud.

Parametry tranzistorů závisí ve velké míře na teplotě. Např. proud  $I_{CB0}$  se

zvětšuje s teplotou. Při zvětšení teploty o 10 °C můžeme počítat s jeho dvojnásobným zvětšením. Proudový zesilovací činitel se se stoupající teplotou také zvětšuje. Z hlediska teploty je důležitým

Tab. 38. Spínací tranzistory

Typ	Druh	$U_{CB}[V]$	$U_{CE}[V]$	$I_C [A]$	$h_{21e}$ při $U_{CB} [V]$ a $I_E [mA]$		$P_{tot}[W]$	$T_j [^{\circ}C]$	$R_{ti}[^{\circ}C/W]$	
GS501	G npn	20	20	0,4	$< 4,5 \text{ } ^1)$	6	3	150	75	350
GS502	G npn	20	20	0,4	$< 4,5 \text{ } ^1)$	6	3	150	75	350
GS504	G npn	20	20	0,4	$< 4,5 \text{ } ^1)$	6	3	150	75	200
GS506	G npn	14	15 $^2)$	0,01	10	6	1	0,085	75	600
GS507	G npn	15	15 $^2)$	0,03	$< 10 \text{ } ^1)$	6	1	0,085	75	600
KS500	S npn	25	14	0,2	$< 20 \text{ } ^1)$	1	19	0,3	200	
KU601	S npn	60	50	3	75	6	200	10 $^3)$	155	5
KU602	S npn	120	80	3	$< 80$	6	200	10 $^3)$	155	5
KU601	S npn	60	50	3	75	6	200	10 $^3)$	155	5
KU612	S npn	120	80	3	$< 20$	6	200	10 $^3)$	155	5
KU605	S npn	200	200 $^4)$	10	$< 5 \text{ } ^1)$	10	500	50 $^3)$	155	1,5
KU606	S npn	120	120 $^4)$	8	$< 5 \text{ } ^1)$	10	500	50 $^3)$	155	1,5
KU607	S npn	210	210 $^4)$	10	$< 5 \text{ } ^5)$	10	500	70 $^3)$	155	1,5
KSY21	S npn	40	15	0,5	17	5 $^6)$	500 $^7)$	1 $^3)$	200	
KSY34	S npn	60	40	0,6	$< 25$	1 $^6)$	100 $^7)$	0,8 $^3)$	200	
KSY62	S npn	25	15	0,2	20 až 300	1 $^6)$	10 $^7)$	1 $^3)$	200	
KSY63	S npn	40	15	0,2	30 až 120	1 $^6)$	10 $^7)$	1 $^3)$	200	
KSY71	S npn	40	15	0,2	$< 20$	2 $^6)$	100 $^7)$	0,36	200	
KSY81	S pnp	12	12	0,2	$< 25$	1 $^6)$	100 $^7)$	1 $^3)$	200	
KUY12	S npn	210	210 $^4)$	10	$< 3 \text{ } ^8)$	10	500	70	150	1,5

<sup>1)</sup>  $f = 1 \text{ MHz}$

<sup>2)</sup>  $R_{BE} = 1 \text{ k}\Omega$

<sup>3)</sup> s ideálním chlazením

<sup>4)</sup>  $I_C = 10 \text{ mA}$ ,  $R_{BE} = 0$

<sup>5)</sup>  $f = 0,3 \text{ MHz}$

<sup>6)</sup>  $U_{CE}$

<sup>7)</sup>  $I_C$

<sup>8)</sup>  $f = 3 \text{ MHz}$

parametrem maximální teplota přechodu  $T_j$  a teplotní odpor  $R_t$ . Maximální teplota přechodu u germaniových tranzistorů bývá 70 až 90 °C a u křemíkových až 150 °C. Teplotní odpor udává teplotní spád mezi přechodem a pouzdem. Udává se ve °C/W. Známe-li tedy

$T_j$ , můžeme vypočítat ze ztrátového výkonu a teplotního odporu maximální teplotu pouzdra. Z této teploty se již počítá chladič tranzistoru. Tento výpočet je pro amatérskou praxi dosti složitý a chladičí plocha se proto určuje odhadem. U některých výkonových tran-

Tab. 39. Křemíkové tranzistory n-p-n

Typ	$U_{CB}$ [V]	$U_{CE}$ [V]	$h_{21e}$ při	$U_{CE}$ [V] a $I_E$ [mA]	$I_C$ [A]	$P_{tot}$ [W]	$T_j$ [°C]	
KC147	45	45	> 20	5	0,01	0,1	0,2	125
KC148	20	20	> 20	5	0,01	0,1	0,2	125
KC149	20	20	> 40	5	0,01	0,1	0,2	125
KC507	45	45	> 20	5	0,01	0,1	0,3	175
KC508	20	20	> 20	5	0,01	0,1	0,3	175
KC509	20	20	> 40	5	0,01	0,1	0,3	175
KD501	40	40	> 40	2	1 000	20	150	155
KD502	60	60	> 40	2	1 000	20	150	155
KD503	80	80	> 40	2	1 000	20	150	155
KD601	40	24	> 1 <sup>6)</sup>	4	100	10	35	200
KD602	110	110	15 až 50	2	4 000	8	35	155
KD605	40	40	> 30	2	1 000	10	70	155
KD606	60	60	> 30	2	1 000	10	70	155
KD607	80	80	> 30	2	1 000	10	70	155
KF124	30	20	67 až 220	10	1	30 <sup>5)</sup>	0,22	125
KF125	30	20	37 až 125	10	1	30 <sup>5)</sup>	0,22	125
KF167	40	30				25 <sup>5)</sup>	0,13	175
KF173	40	25				25 <sup>5)</sup>	0,2	175
KF503	100	100	90	10	10	0,05	2,5 <sup>4)</sup>	175
KF504	160	160 <sup>2)</sup>	90	10	10	0,05	2,5 <sup>4)</sup>	175
KF506	75	50 <sup>3)</sup>	35 až 125	10	10	0,5	2,6 <sup>4)</sup>	200
KF507	40	32 <sup>3)</sup>	> 35	10	10	0,5	2,6 <sup>2)</sup>	200
KF508	75	60 <sup>3)</sup>	90 až 300	10	10	0,5	2,6 <sup>4)</sup>	200
KF524	30	20	67 až 220	10	1	0,03	0,145	175
KF525	30	20	37 až 125	10	1	0,03	0,145	175

<sup>1)</sup>  $f = 10$  MHz

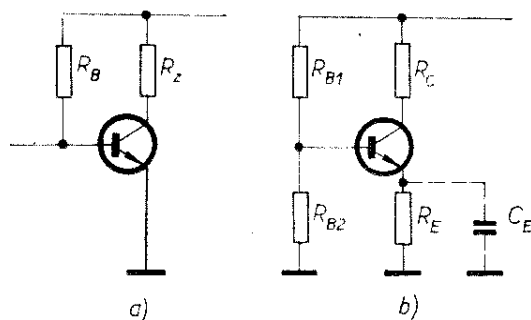
<sup>2)</sup>  $R_{BE} = 0$

<sup>3)</sup>  $R_{BE} < 500 \Omega$

<sup>4)</sup> s ideálním chlazením

<sup>5)</sup> mA

<sup>6)</sup>  $|h_{21e}|$ ,  $f = 10$  MHz



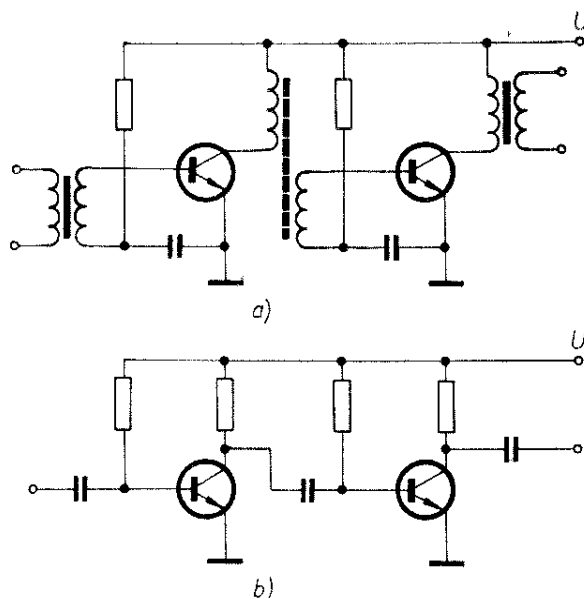
Obr. 30. Stabilizace pracovního bodu

zistorů bývá v katalogu uvedena chladičí plocha pro maximální ztrátový výkon.

Na obr. 30a je zapojení se společným emitorem s jednoduchým nastavením pracovního bodu. Jak jsme si již řekli, nastavení pracovního bodu se mění s teplotou. Proto je vhodné pracovní bod teplotně stabilizovat. Na obr. 30b je zapojení tranzistoru se stabilizovaným pracovním bodem. Do emitoru je zařazen emitorový odpor. Tento odpor velmi přispívá k teplotní stabilitě pracovního bodu. Zvětší se tím ovšem napětí mezi zemí a bází o úbytek na emitorovém odporu. Pro střídavé signály se proto zařazuje paralelně k emitorovému odporu ještě emitorový kondenzátor, který představuje pro signál daného kmitočtu zkrat. Pro nízkofrekvenční signál má tento kondenzátor kapacitu řádu desítek  $\mu\text{F}$ .

Předpětí báze se získává z bazového děliče, čímž se opět zlepší stabilita, ovšem za cenu zvětšeného odběru proudu ze zdroje. Kolektorový, emitorový a bazové odpory se určí z charakteristik tranzistoru.

Charakteristiky tranzistoru jsou na obr. 29. Pracovní bod  $P$  určujeme ob-



Obr. 31. Vazba zesilovačů (a – transformátorová, b – kapacitní)

vykle podle voleného kolektorového proudu. Z charakteristik přečteme napětí kolektor – emitor a proud procházející bází. Na napěťové ose označíme napájecí napětí  $U$ . Tímto pracovním bodem vedeme tzv. zatěžovací přímku. Tam, kde přímka protíná proudovou osu, označíme proud  $I$ . Z toho proudu a napájecího napětí vypočteme odpor  $R_z$ , který je součtem zatěžovacího odporu  $R_z$  a emitorového odporu. Emitorový odpor volíme podle stejnosměrné úrovně výstupu; obvykle bývá jednou pětinou až jednou desetinou odporu  $R_z$ . Bodem  $P$  vedeme horizontálu, která protne v druhém kvadrantu přímku závislosti  $I_C$  na  $I_B$  v bodu  $P_1$  při daném kolektorovém napětí. Z bodu  $P_1$  vedeme vertikálu na křivku závislosti bazového proudu

Tab. 40. Křemíkové tranzistory p-n-p

Typ	$U_{CB}$ [V]	$U_{CER}$ [V]	$h_{21e}$ při $U_{CB}$ [V] a $I_E$ [mA]			$I_C$ [A]	$P_{tot}$ [W]	$T_j$ [°C]
KFY16	75	45	40	10	150	0,6	2,6 <sup>1)</sup>	200
KFY18	75	45	100	10	150	0,6	2,6 <sup>1)</sup>	200
KF517	40	30	40	10	150	0,6	2,6 <sup>1)</sup>	200

<sup>1)</sup> s ideálním chlazením

na bázevém napětí. Ze získaného bodu  $P_2$  určíme napětí  $U_B$ . Tím je určen bázevý proud  $I_B$  a bázevé napětí  $U_{BE}$ . Dělič do báze vypočteme z Ohmova zákona, neboť známe napájecí napětí, napětí báze a proud procházející děličem. Tento proud volíme až  $10 \times$  větší, než proud do báze.

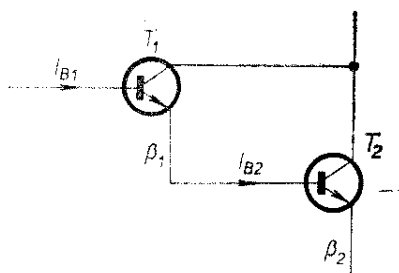
Používá-li se tranzistor jako zesilovač střídavého signálu, navazují se jednotlivé stupně na sebe buď transformátorovou (obr. 31a) nebo kapacitní vazbou (obr. 31b). Při transformátorové vazbě transformátor přizpůsobuje impedančně oba stupně a zároveň je stejnosměrně odděluje. Nevýhodou je, že transformátor pro přenos signálů nízkých kmitočtů je vždy poměrně rozměrný, čímž se zvětší rozměry celého obvodu. Kapacitní vazba umožňuje zmenšit rozměry zesilovače. Protože je však vstupní odpor tranzistoru malý, musí mít kondenzátor pro nízkofrekvenční signál poměrně velkou kapacitu (řádově  $\mu F$ ).

Velmi častým zapojením tranzistorů je zapojení tzv. Darlingtonovo (obr. 32), které se používá pro zvětšení proudového zesilovacího činitele. Má-li  $T_1$  proudový zesilovací činitel  $\beta_1$  a  $T_2$   $\beta_2$ , je výsledné proudové zesílení dvojice

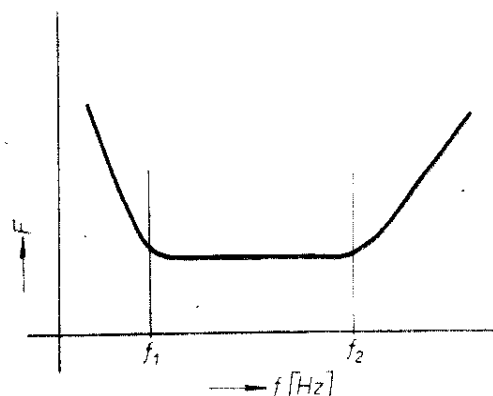
$$\beta = \beta_1 \beta_2.$$

Zapojení má však také nevýhody. Napětí  $U_B$  je oproti použití jednoho tranzistoru dvojnásobné. Zbytkový proud tranzistoru  $T_1$  se násobí  $\beta_2$ krát a převádí do tranzistoru  $T_2$ , takže výsledný  $I_{CE0} = \beta_2 I_{CE01} + I_{CE02}$ . U křemíkových tranzistorů, které mají malý zbytkový proud, je tato nevýhoda minimální.

Jak použít tranzistor jako zesilovač najdeme v mnoha publikacích našich i zahraničních. Při aplikacích zahranič-



Obr. 32. Darlingtonovo zapojení tranzistorů



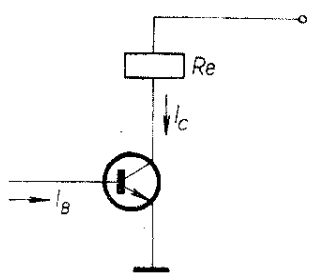
Obr. 33. Závislost šumu na kmitočtu

ních pramenů je někdy nutné původní typy tranzistorů nahradit našimi typy, které mohou být více nebo méně odlišné např. co do parametrů. Je proto nutno bezpečně znát nastavení pracovního bodu. I při různých zapojeních uvedených v našich pramenech je vhodné pracovní bod nastavit individuálně. Pokud v zahraničních pramenech narazíme na neznámý typ tranzistoru, je nutné jej vyhledat v katalogu. Velmi vítanou příručkou je v tomto směru Ročenka Amatérského radia 73. Zahraniční výrobci totiž v katalogích udávají jen své typy tranzistorů, takže neznáme-li výrobce tranzistoru, je hledání velice obtížné.

Mezní kmitočet tranzistoru se uvádí buď jako  $f_{max}$  – mezní oscilační kmitočet (kmitočet, při němž je schopen tranzistor ještě kmitat), nebo jako  $f_\beta$  ( $f_\alpha$ ) – mezní kmitočet v zapojení se společným emitorem (společnou bází), při němž se zesilovací činitel  $\beta$  ( $\alpha$ ) zmenší na 70 % velikosti naměřené na kmitočtu 1 kHz. Může se také udávat kmitočet  $f_T$ . Je to tzv. tranzitní kmitočet.

Důležitou vlastností tranzistoru je také jeho vlastní šum. Činitel šumu je závislý na kmitočtu podle obr. 33. V první části křivky do kmitočtu  $f_1$  se činitel šumu tranzistoru zmenšuje, v druhé části (tzv. oblasti bílého šumu) je činitel šumu takřka neměnný a při kmitočtech vyšších než  $f_2$  se opět šum zvětšuje vlivem zmenšení zesílení na vyšších kmitočtech.

Velmi výhodné je použít tranzistor jako spínač – má malou spotřebu výko-



Obr. 34. Tranzistor jako spínač

nu potřebného ke spínání, krátkou dobu sepnutí a vysoký opakovací kmitočet. Tranzistor jako spínač může pracovat v oblasti nasycení, v oblasti aktivní a v oblasti průrazu. Nejužívanější je spínací režim v oblasti nasycení. Jeho výhodou je odstranění vlivu rozptylu parametrů tranzistoru. Čím menší je poměr kolektorového a bázevého proudu, tím je tranzistor více uveden do nasyceného stavu. Výhodou je také malý ztrátový výkon rozptýlený na tranzistoru. Na obr. 34 je schéma zapojení tranzistoru jako spínače.

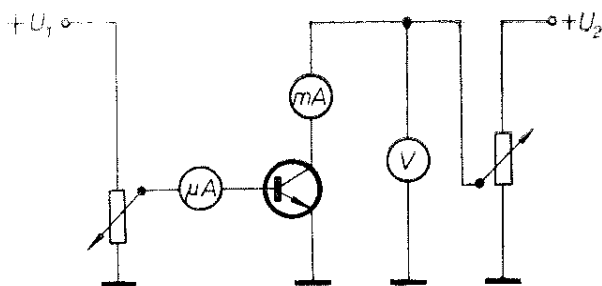
Nyní ještě několik slov o měření tranzistorů. Pro informativní zkoušení tranzistorů nám postačí měřič odporů, např. Avomet II. Tímto měřicím přístrojem můžeme určit, zda je tranzistor vadný (průraz) či nikoli. Zkoušíme přechody, báze – kolektor, báze – emitor, a emitor – kolektor. Pro přesnější změření tranzistoru n-p-n připojíme zdroj podle obr. 35. Tímto způsobem změříme proudový zesilovací činitel při zanedbání zbytkového proudu.

Při práci s tranzistory musíme zachovávat některé hlavní zásady. V některých publikacích, zvláště starších, se uvádí, že u tranzistorů se nemají zkracovat

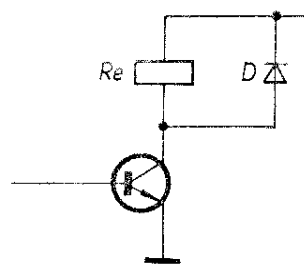
přívody. Toto pravidlo je odůvodněno tím, že při pájení by se mohl tranzistor přehřátím zničit. Dnes, kdy většina používaných tranzistorů jsou tranzistory křemíkové, toto nebezpečí již v takové míře nehrozí. Při pájení je možno přívody zkrátit až na minimum (asi 5 mm) od pouzdra. Při pájení tranzistorů do desky s plošnými spoji je vhodné používat podložky (i pod diody). Celek je potom kompaktnější a má větší mechanickou odolnost. Toto platí zvláště u obvodů, použitých pro různé funkce v motorovém vozidle.

Používání objímek pro tranzistory je značně problematické. Je pravda, že při případné opravě je výměna tranzistorů jednoduchá, objímka sama může být však zdrojem závady. Je tedy lépe, použijeme-li objímky pro zkušební destičku a pro finální výrobek tranzistory připájíme. Dále si u mnohých tranzistorů musíme dát pozor na to, že kolektor bývá spojen s pouzdrům. To platí zvláště u tranzistorů se středním a velkým výkonem.

Zvláštní kapitolou je práce s tranzistory řízenými polem. U těchto tranzistorů již pouhý styk prstu a řídicí elektrody může přivodit jejich zničení statickou elektřinou. Tyto tranzistory se musí proto pájet se zkratovanými přívody. Čím má tranzistor větší strmost, tím je nebezpečí poškození větší. Poškození těchto i ostatních tranzistorů bývá často zaviněno pájením na zapnutém zařízení. Zařízení v době pájení musí být odpojeno od napájecího zdroje, pokud ten nemá vhodnou elektronickou pojistku. U spínacích tranzistorů, které spínají indukční zátěž (relé, solenoidový ventil), se musí tranzistor chránit proti zpětným napěťovým špičkám.



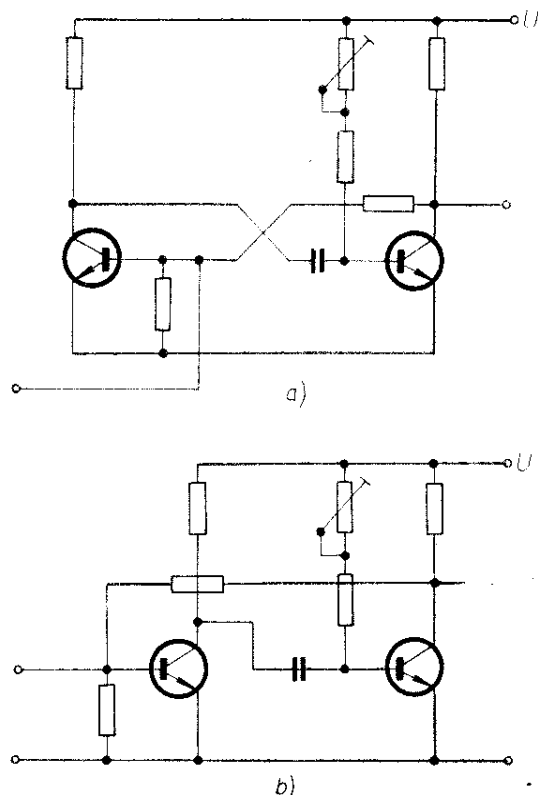
Obr. 35. Měření tranzistorů



Obr. 36. Indukční zátěž

kám. Dáváme proto paralelně k indukční zátěži diodu, která vzniku těchto napěťových špiček zamezí (viz obr. 36).

Začínající amatér, který si vyhlédne určitý obvod v literatuře, obvykle činí tu chybu, že nepředpokládá různé odchylky v parametrech tranzistorů, odporů a jiných součástek. To bývá mnohdy příčinou všech zklamání nad nezdařeným dílem. Rozptýl např. parametrů tranzistorů je takový, že velmi často potřebují obvody upravit co do velikosti součástek. Mnohdy bývají publikována zajímavá zapojení s cizími tranzistory, přičemž bývá uvedena přibližná náhrada našimi tranzistory. Při pouhé náhradě původních tranzistorů se stává, že si mnozí amatéři stěžují, že to či ono „nechodí“ – při tom je možno tyto obvody uvést do chodu jednoduchým nastavením pracovních bodů. Nejvýhodnější je zhotovit si příslušný obvod na zkušební desku. Na zkušební desce můžeme snadno měnit všechny součástky. Výhodné je používat při zkoušení pro tranzistory a integr. obvody objímky.



Obr. 37. Úprava schématu zapojení pro kreslení nákrese plošných spojů

Pak se dají tyto součástky snadno vyměnit. V této fázi práce vývody součástek zásadně nezkracujeme, abychom je mohli použít pro stavbu „načisto“.

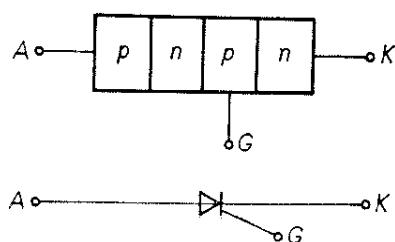
Tranzistorové obvody se většinou zhotovují na deskách s plošnými spoji. Někdy nebývá rozmístění součástek a návrh desky se spoji v publikaci uveden. V tom případě si jej navrhne sami. Základem bývá upravit schéma pro plošné spoje. Schéma překreslíme tak, aby se spojové čáry co nejméně křížily, přičemž není na závadu, procházely-li přes odpory a kondenzátory. Jako příklad si uvedeme schéma monostabilního obvodu (obr. 37). Vidíme, že kdyby součásti byly tak velké, jako jsou kresleny na schématu, stačilo by spojovací čáry považovat za spojové čáry plošných spojů. Protože tomu tak není, musíme počítat s faktickou velikostí všech součástek. Rozložení spojových čar se však již nemění. Zručnost při návrhu se získá již po několika verzích desek s plošnými spoji.

Vlastní desku se spoji můžeme zhotovovat mnoha způsoby. Dříve byla oblíbená „lakovací“ metoda. Spojovací čáry se na měděné fólii vytvářely acetonovým lakem, po odleptání nenalakovovaných částí se lak smyl ředidlem. Spoje nebývaly příliš vzhledné, i když svému účelu posloužily. V dnešní době jsou již prodávány soupravy na vytváření plošných spojů fotograficky. Návrh plošných spojů stačí nakreslit na pauzovací papír tak, aby části, které chceme vyleptat, byly černé. Cuprextitovou desku důkladně očistíme, buď podle návodu vídeňským vápnem, nebo jemným smirkovým papírem. Na čistou desku již nesmíme sahat prsty! Potom na desku v přítmí nanese světlocitlivou emulzi. Vrstva se může nanést štětcem. Aby se zachovala rovnoměrná vrstva emulze, nanese ji na desku větší množství a zbytek necháme po desce odtéci. Pak uložíme desku ve tmě, ve svislém poloze, aby mohla přebytečná emulze odtékat. Deska musí být na každé straně nejméně o 1 cm větší než požadujeme, protože emulze špatně přilne v krajích. Po zaschnutí přiložíme na desku kresbu na pauzovacím papíru

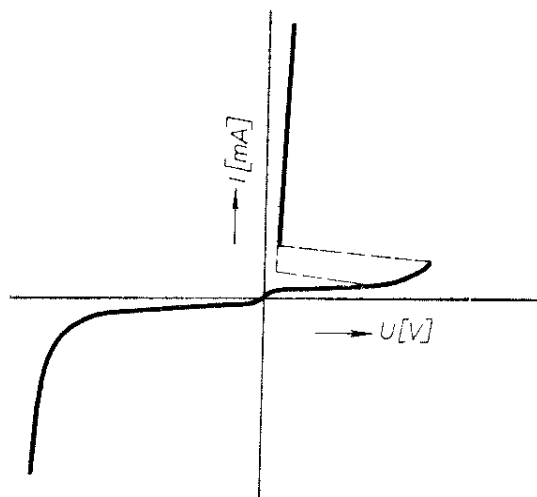
a přitiskneme ji nejlépe organickým sklem. Pak desku osvítime, nejlépe horským sluncem. Svítíme-li ze vzdálenosti asi 1 m, osvitová doba bude 12 až 15 minut. Po této době zhasneme výbojku a cuprextitovou desku podle návodu „vykoupeme“ ve vývojce. Po vykoupání musí být kresba spojů jasně zřetelná. Po vyjmutí z vývojky desku odleptáme v zahluvovači. Mezi jednotlivými operacemi nesmíme desku oplachovat vodou! Světlocitlivá emulze se totiž vodou rozpouští. Po odleptání a omytí je deska téměř hotová. Zbývá jen pro snadné pájení a uchování pěkného vzhledu natřít ji vrstvou kalafuny rozpuštěné v lihu. Výsledkem by měly být perfektní plošné spoje s ostrou kresbou. Přehled tuzemských diod a tranzistorů je v tab. 29 až 40.

### Tyristory

Podíváme-li se na obr. 38, vidíme, že tyristor je čtyřvrstvý prvek, je tvořen přechody p-n, n-p a n-p a p-n. Přiložíme-li na anodu záporné napětí, tyristor nevede, protože je zablokován přechody p-n. Přiložíme-li na anodu kladné napětí, tyristor též nevede, protože je zablokován přechodem n-p. U přechodu n-p je proto vyvedena další elektroda, tzv. řídící. Přiložením kladného napětí mezi řídící elektrodou a katodu se přechod n-p stane vodivým a zůstane vodivým, pokud jím prochází proud, i když na řídící elektrodě již kladné napětí není. Tyristor je tedy v podstatě řízený usměrňovač. Řekli jsme si, že tyristor zůstane sepnut po celou dobu, poníž jím protéká proud. Je to tedy v podstatě paměťový prvek. Podíváme-li se nyní na obr. 39, na němž je nakreslena volt-ampérová charakteristika tyristoru, vi-

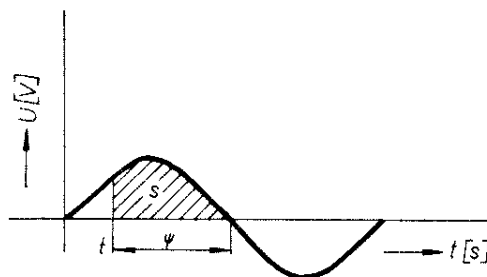


Obr. 38. Tyristor



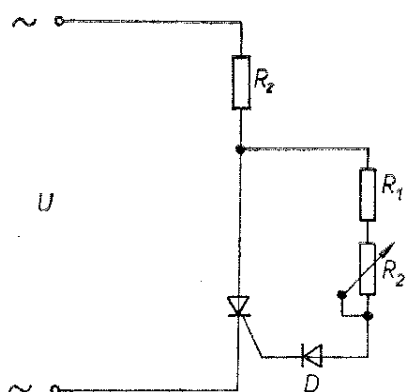
Obr. 39. Charakteristika tyristoru

díme, že v prvním kvadrantu (pravém horním), není-li na řídící elektrodě napětí, se tyristor chová zpočátku jako dioda v závěrném směru. V oblasti kolena, kdy nastává průraz přechodu n-p, se tyristor uvede do sepnutého stavu. Tentýž stav nastane i před oblastí kolena, sepne-li tyristor přivedením napětí na řídící elektrodu. Charakteristika v závěrném směru (III. kvadrant) je stejná jako charakteristika diody. Můžeme-li tedy v libovolném čase sepnout tyristor (uvést do vodivého stavu), můžeme jím spínat nebo řídit výkon přiváděný do zátěže. Princip řízení výkonu si ukážeme na obr. 40. Přivádíme-li na anodu tyristoru sinusové napětí, můžeme v kladné periodě v libovolném čase (třeba  $t_1$ ) tyristor sepnout. Činitel  $\Psi$  se nazývá úhel otevření tyristoru. Plocha  $S$  je přímo úměrná výkonu, takže můžeme-li libovolně měnit  $\Psi$ , regulujeme tím vlastně výkon, přiváděný do zátěže.

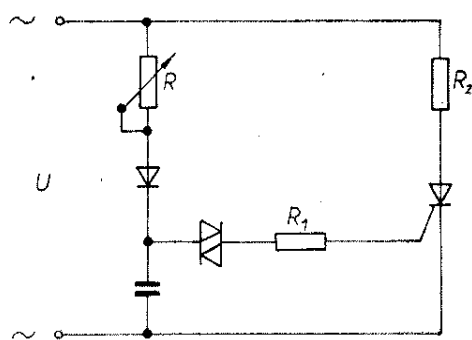


Obr. 40. Spínání tyristoru

Při průchodu napětí nulou zaniká proud procházející tyristorem a tyristor nevede. V záporné periodě je tyristor neprůchodný. Protéká-li v této době řídicí elektrodou proud, je zbytkový proud tyristoru závislý na velikosti řídicího proudu. Křivky těchto závislostí se obvykle udávají v konstrukčních katalozích a podle nich se určuje přídatný ztrátový výkon v závěrném směru. V praxi je však lépe se tomuto stavu vyhnout. Tyristor se pro tento případ může řídit jednotlivými kladnými impulsy, přiváděnými na řídicí elektrodu. Posouváme-li u impulsů fázi, měníme tím i okamžik sepnutí tyristoru. Jako zdroj impulsů se používají generátory impulsů. V generátorech je fázový posuv závislý na přivedeném vstupním stejnosměrném napětí. Jedná se v podstatě o blokovací oscilátor, spouštěný napětím pilovitého průběhu do báze tranzistoru. Podkládáme-li napětí pilovitého průběhu stejnosměrným napětím, měníme dobu spouštění blokovacího oscilátoru a tím i fázový posuv. Tento způsob se používá většinou pro regulaci výkonu tyristory v průmyslu. Pro amatérskou praxi zcela postačí způsob spínání podle obr. 41. Při zvětšování napětí se v určitém okamžiku zvětší proud řídicí elektrodou tak, že se tyristor uvede do sepnutého stavu. Okamžik sepnutí lze měnit změnou nastavení potenciometru  $R_3$ ,  $R_1$  je odpor, který chrání řídicí elektrodu tyristoru proti přetížení. Obvykle se vypočítá z maximálního přiváděného napětí a maximálního proudu řídicí elektrodou, uvedeného

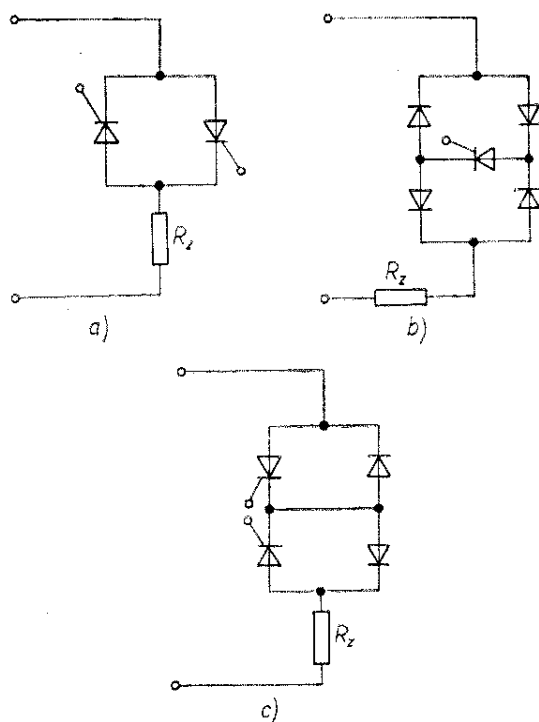


Obr. 41. Řízení výkonu tyristorem



Obr. 42. Řízení výkonu dvojicí diak – tyristor

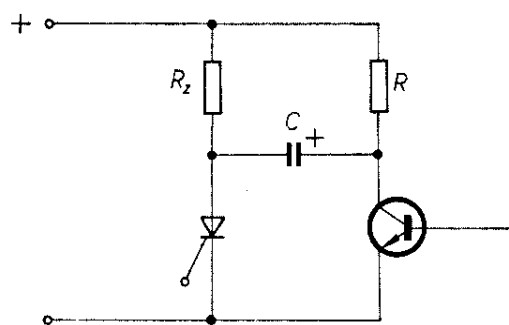
v katalogu. Dioda  $D$  zamezuje přítomnosti inverzního napětí na řídicí elektrodě v době, kdy je na anodě tyristoru inverzní napětí. Při sinusovém napětí je ovšem možno tímto způsobem regulovat výkon jen asi od 25 do 50 % (spínáme pouze při jedné periodě napětí). Tato nevýhoda se odstraní přiváděním usměrněného sinusového napětí do obvodu. Z obr. 41 je patrné, že tyristor můžeme regulovat pouze při zvětšujícím se napětí. Tím je určena dolní hranice 25 %. Žádáme-li větší rozsah regulace, je nutno použít jiné zapojení. Nejvýhodnější je kombinace polovodičů tyristor – diak podle obr. 42. Kondenzá-



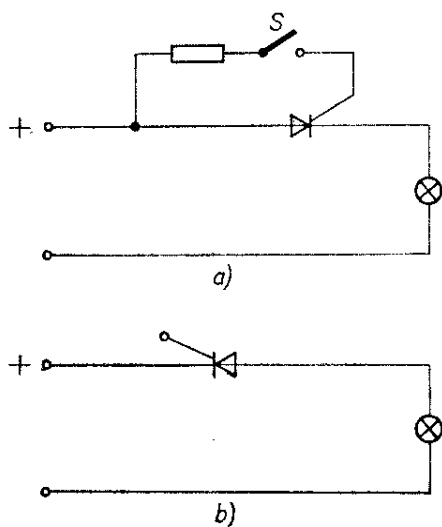
Obr. 43. Různá zapojení tyristorů



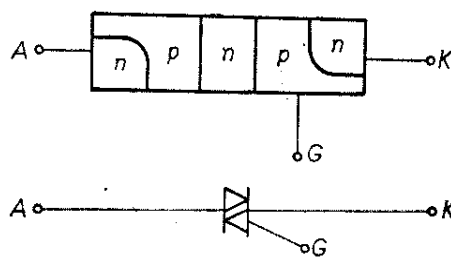
tor  $C$  se v kladné půlperiodě nabíjí přes řídicí potenciometr  $R$  a diodu  $D$ . Bude-li se napětí na kondenzátoru rovnat spínacímu napětí diaku, diak sepne a propustí proud z kondenzátoru (omezený ochranným odporem  $R_1$ ) a ten sepne tyristor. Abychom nemuseli usměrňovat napětí přiváděné na tyristor, byla vytvořena různá další zapojení. Na obr. 43a je jedno takové zapojení. Má však tu nevýhodu, že oba obvody k řízení tyristorů nemají společný bod. Na obr. 43b je zapojení, které umožňuje regulovat výkon v kladné i záporné periodě, vždy přes opačně pólované diody. Zapojení na obr. 43c umožňuje zvlášť regulovat výkon v kladné i záporné periodě se společným bodem. Přivádí-li se na tyristor střídavé napětí, tyristor přestává vést při průchodu napětí nulou (zánik proudu), jinak je tomu při stejnosměrném napětí. Kladné stejnosměrné napětí



Obr. 44. Vypínání tyristorem



Obr. 45. Zkoušení tyristoru



Obr. 46. Triak

můžeme sice tyristorem sepnout, avšak rozpínat musíme tyristor pomocným obvodem. Jeden takový obvod je na obr. 44. Sepneme-li tyristor, je na jeho anodě pouze zbytkové napětí. Kondenzátor  $C$  se tudíž nabije přes odpor  $R$  na polaritu podle obrázku. Sepne-li tranzistor, kondenzátor se svým kladným pólem spojí se zemí a na anodě tyristoru je na okamžik záporné napětí. Tyristorem v tomto okamžiku neprochází proud a tyristor se vypne.

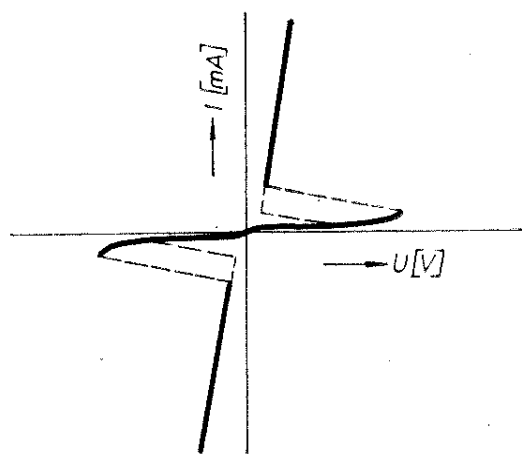
Tyristory měříme jako diody v závěrném směru. Pokud chceme pouze určit, není-li tyristor poražen, či zda spíná, můžeme postupovat podle obr. 45a. Připojíme-li tyristor takto do obvodu, nesmí žárovka svítit. Sepnutím spínače  $S$  sepne tyristor a žárovka se rozsvítí. Rozepneme-li nyní spínač  $S$ , žárovka zůstane svítit. Podle obr. 45b zjistíme, není-li tyristor proražen v závěrném směru.

Přehled tuzemských tyristorů je v tab. 41 a 42 (4. strana obálky).

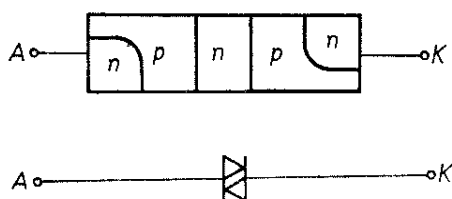
### Triaky, diaky

Triak je, jak je vidět na obr. 46, pěti-vrstvový prvek. Jeho činnost bychom si mohli představit jako činnost dvou tyristorů. Přivedením napětí na řídicí elektrodu se triak sepne v obou směrech. Je to zřejmé i z voltampérové charakteristiky (obr. 47). Můžeme jím tudíž řídit výkon v obou periodách střídavého proudu. Řídicí obvody jsou obdobné jako u tyristorů.

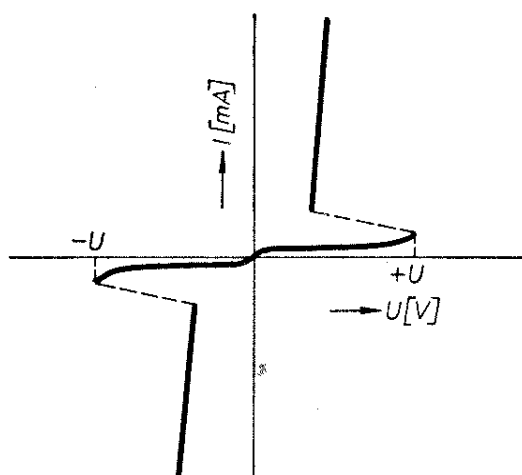
Na obr. 48 je uspořádání diaku. Vidíme, že je to v podstatě triak bez řídicí elektrody. Princip činnosti si nejlépe osvětlíme na voltampérové charakteristice (obr. 49). Spínací napětí je malé proti triaku, asi 30 až 40 V. Tento



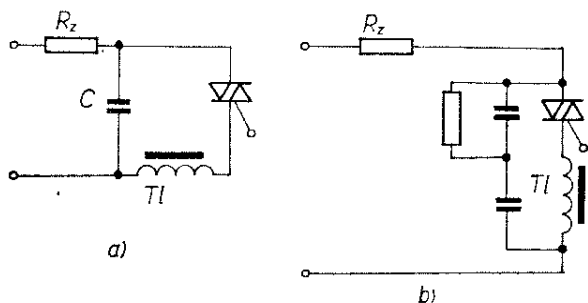
Obr. 47. Charakteristika triaku



Obr. 48. Diak



Obr. 49. Charakteristika diaku



Obr. 50. Odrušení pro tyristorové a triakové obvody

prvek se používá k řízení tyristorů a triaků (obr. 42).

Vždy, spínáme-li tyristor či triak, mění se proud v celém obvodu skokem od nuly. Při této skokové změně vznikají signály harmonických kmitočtů, které způsobují rušení. Mnozí amatéři se s tímto problémem již setkali, když si postavili třeba tyristorový regulátor teploty, tyristorové spínání osvětlení atp. Toto rušení se šíří buď vedením, nebo přímo vyzařováním. Rušení je nepříjemné jak při poslechu rozhlasu (televize), tak kvůli vzájemnému ovlivňování tyristorových či triakových obvodů. Rušení šířené vedením omezujeme filtry, např. podle obr. 50a. Tlumivka zmenšuje strmost nárůstu proudu. Kondenzátor  $C$  též omezuje rušení. Při malé činné zátěži se někdy může stát, že triak se po zapnutí opět vypne rezonancí v obvodu. Tento jev se odstraní zapojením podle obr. 50b. Rušení vyzařováním zmenšíme (nebo odstraníme) pečlivým odstíněním celého obvodu. Přívody je vhodné vést stíněnými vodiči. Přehled tuzemských diaků a triaků je v tab. 43 a 44.

Tab. 43. Diaky

Typ	$U_{B0}$ [V]	$\Delta U$ [V]	$P_{max}$ [mW]
KR205	$26 \pm 4$	6	150
KR206	$32 \pm 4$	6	150
KR207	$38 \pm 4$	6	150

## Zdroje

Důležitou součástí každého přístroje je napájecí zdroj. Špatný zdroj může zhoršit vlastnosti celého zařízení. Proto je třeba věnovat jeho návrhu velkou pozornost, i když jde zpravidla o jednoduché zapojení.

Každý zdroj můžeme rozdělit na tři části. První je síťový transformátor, který odděluje zařízení od sítě a na jehož sekundárním vinutí dostáváme napětí potřebné velikosti. Další částí je usměrňovač, který mění střídavé napětí na

Tab. 44: Triaky

Typ	$U_D$ [V]	$I_T$ [A]	$I_H$ [mA]	$I_{GT\ max}$ [mA]
KT772	200	6	50	150
KT773	400	6	50	150
KT774	600	6	50	150
KT782	200	10	50	150
KT783	400	10	50	150
KT784	600	10	50	150

stejnoseměrné. Za ním následuje obvod, který potlačuje zbylé střídavé složky. Závisí-li jeho výstupní napětí na vstupním a na zatěžovací impedanci, hovoříme o vyhlazovacím filtru. Obvod, jehož výstupní napětí je konstantní i když se vstupní napětí a zatěžovací impedance mění, nazýváme stabilizátor.

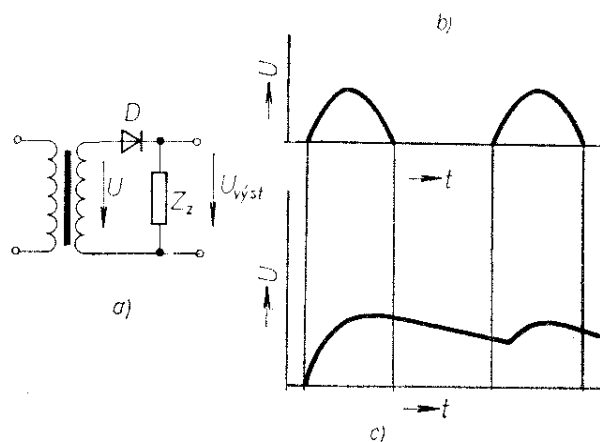
Základní zapojení usměrňovačů jsou na obr. 51 až 53. V tab. 45 jsou uvedeny veličiny potřebné k výběru diod pro každé zapojení. V jednocestném zapojení podle obr. 51a využíváme toho, že dioda propouští proud jen v jednom směru. Průběh napětí na zatěžovací impedanci je na obr. 51b (v případě, že jde o odpor), popř. na obr. 51c (v případě, že je zátěž tvořena paralelní kombinací kondenzátoru a odporu nebo sériovým zapojením indukčnosti a odporu). Dvoucestný usměrňovač podle obr. 52a se skládá ze dvou navzájem se doplňujících jednocestných usměrňovačů. Je-li jedna dioda polarizována v propustném směru, je druhá uzavřena. Na obr. 53 je tzv. můstkové zapojení (Graetzův můstek), které využívá čtyř diod. Průběhy výstupního napětí jsou stejné jako u dvoucestného usměrňovače.

Impedance  $Z_z$  je obvykle složena z kondenzátoru  $C$  a paralelního odporu  $R_z$ , který představuje vlastní zátěž. Činnost usměrňovače můžeme charakterizovat činitelem zvlnění  $\varphi$

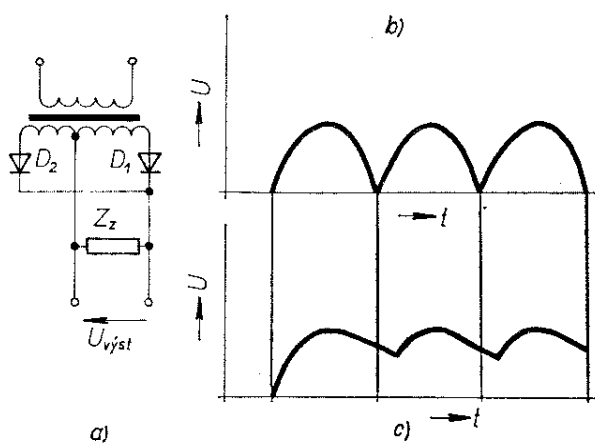
$$\varphi = \frac{U_{2\max} - U_{2\min}}{U_{2stř}},$$

kde  $U_{2\max}$  je maximální výstupní napětí,  
 $U_{2\min}$  minimální výstupní napětí,  
 $U_{2stř}$  průměrné střední výstupní napětí.

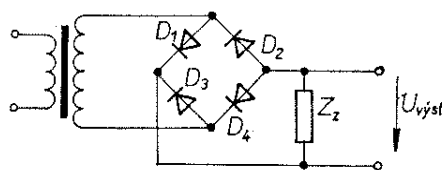
Je zřejmé, že čím větší bude kapacita kondenzátoru  $C$  a odpor  $R_z$ , tím menší bude činitel zvlnění. Kondenzátor  $C$  však nemůžeme zvolit libovolně velký. Je-li vybit a připojíme-li na primární vinutí transformátoru napětí, protéká v prvním okamžiku diodami velký proud (nabíjecí proud kondenzátoru), který je může zničit. Výrobce proto



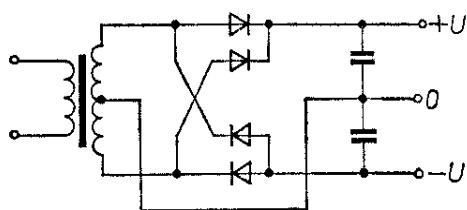
Obr. 51. Jednocestný usměrňovač



Obr. 52. Dvoucestný usměrňovač



Obr. 53. Můstkový usměrňovač (Graetzův)



Obr. 54. Zdroj symetrického napětí

udává pro každou usměrňovací diodu kapacitu kondenzátoru, který může být připojen na výstup usměrňovače. Dalším omezením jsou velké rozměry elektrolytických kondenzátorů. Potřebnou kapacitu kondenzátoru pro zvlnění 0,2 zjistíme snadno podle empirického vztahu

$$C_{\min} \geq \frac{k}{R_z} [\mu F] \quad (\text{při } \varphi_{zv} = 0,2),$$

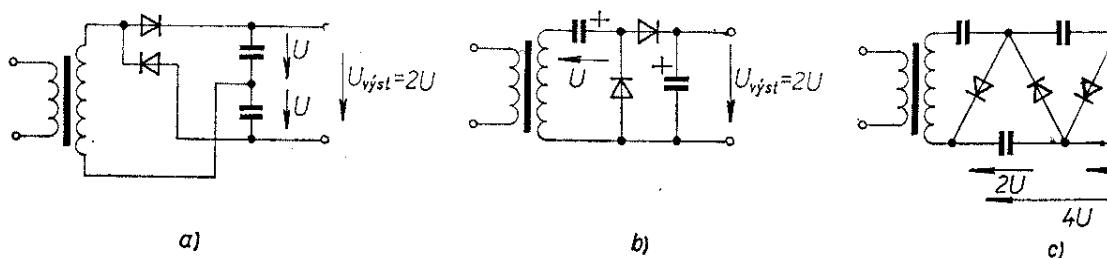
kde  $k$  je 25 000 pro dvoucestný a můstkový usměrňovač a 75 000 pro jednocestný usměrňovač.

Výstupní napětí vypočteme ze vzorce

$$U_{\text{výst}} \doteq \frac{4}{3} U_{\text{ef}} \text{ při } R_z \rightarrow \infty.$$

V tab. 46 jsou uvedeny výhody a nevýhody jednotlivých zapojení. Pro konstrukci tranzistorových zařízení jsou nejvhodnější můstkové usměrňovače. Vyžadují sice čtyři diody, rozměry polovodičových diod jsou však malé ve srovnání s větším elektrolytickým kondenzátorem (jednocestný usměrňovač) nebo složitějším transformátorem (dvoucestný usměrňovač).

K napájení některých zařízení potřebujeme souměrné napájecí napětí (obr. 54). Jde o dva dvoucestné usměrňovače, připojené na společné sekundární vinutí transformátoru. Chceme-li zvětšit výstupní napětí usměrňovače při stejném vstupním napětí, použijeme



Obr. 55. Zdvojovače a násobiče napětí

Tab. 45. Údaje pro návrh usměrňovače

Zapojení	Závěrné napětí $U_{KA}$	Proud $I_{AK}$
jednocestné	$2U$	$I$
dvoucestné	$2U$	$1/2I$
Graetzovo	$U$	$1/2I$

$U$  = ss napětí na výstupu usměrňovače,  
 $I$  = efektivní proud tekoucí do zátěže.

tzv. zdvojovač napětí. Na obr. 55a je paralelní (Delonův) zdvojovač. Tvoří ho dva jednocestné usměrňovače připojené paralelně k transformátoru. Jejich výstupy jsou zapojeny do série, takže se napětí na nich sčítá. Jiné zapojení je na obr. 55b. Je-li dioda  $D_1$  otevřena, nabije se kondenzátor  $C_1$  na napětí  $U$ . Když se  $D_1$  zavře,  $D_2$  je otevřena a  $C_2$  se nabije na napětí  $2U$ . Výstupní napětí lze ještě zvětšit sériovým řazením zdvojovačů (obr. 55c). Potom dostáváme tzv. násobiče napětí.

Ke zmenšení činitele zvlnění se používají filtry, složené z indukčností a kapacit – filtry  $LC$ , z odporů a kapacit – filtry  $RC$  nebo z aktivních prvků – elektronické filtry. Kvalitu filtru popisuje veličina

$$\varphi = \frac{\varphi_{vst}}{\varphi_{výst}},$$

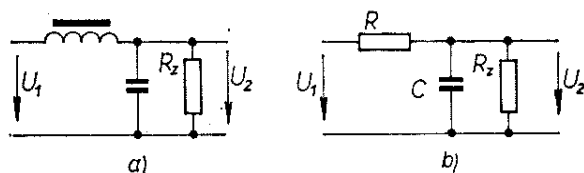
nazývaná činitel filtrace.

Na obr. 56a je zapojení jednoho stupně filtru  $LC$ . Činitel filtrace je pro kmitočet  $f$

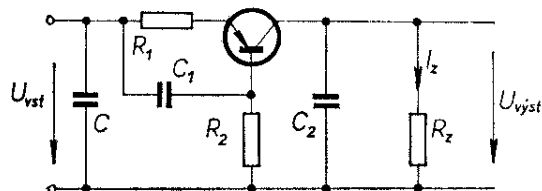
$$\varphi \doteq 4\pi^2 f^2 LC - 1.$$

Častěji používáme filtry s členy  $RC$  (obr. 56b). Jejich nevýhodou je menší činitel filtrace, pro který platí:

$$\varphi \doteq 2\pi fRC.$$



Obr. 56. Vyhlazovací filtry



Obr. 57. Elektronický filtr

Filtry RC nejsou vhodné tam, kde je zatěžovací odpor  $R_z$  malý, neboť výstupní napětí se zmenšuje na  $U_{vst} \frac{R_z}{R_z \pm R}$ .

Velkého činitele filtrace dosáhneme použitím elektronického filtru podle obr. 57. Tranzistor má stejnosměrný odpor mezi kolektorem a emitorem mnohem menší, než diferenciální odpor. Proud kolektoru je  $I_C = I_{C0} + I_E$ . Zajistíme-li dostatečnou filtraci  $I_E$ , bude i proud do zátěže konstantní. Proud  $I_E$  filtrujeme článkem z  $R_1$  a  $C_1$ , odporem  $R_2$  se nastavuje pracovní bod tranzistoru.

Kvalitní zdroj napětí musí mít malý vnitřní odpor. Potom je napětí na zátěži konstantní, i když se mění zátěž. Kromě toho často potřebujeme napájecí napětí nezávislé na kolísání napětí v síti. Obou vlastností lze dosáhnout u tzv. stabilizátorů napětí. Stabilizátory můžeme rozdělit do dvou skupin. Do první řadíme obvody, využívající nelineární voltampérové charakteristiky vhodného prvku (Zenerova dioda). Druhou skupinu tvoří obvody, které regulují napětí na zátěži na základě srovnání tohoto napětí s napětím referenčním. Regulačním prvkem je tranzistor nebo elektronka. Vlastnosti stabilizátoru jsou dány zvláště činitelem stabilizace  $S$ , který je dán poměrem relativních změn vstupního a výstupního napětí

$$S = \frac{\Delta U_{vst}/U_{vst}}{\Delta U_{výst}/U_{výst}}.$$

Nejjednodušším stabilizátorem je obvod

Tab. 46. Výhody a nevýhody jednotlivých druhů usměrňovačů

Zapojení	Výhody	Nevýhody
jednocestné	nejmenší počet diod	obtížná filtrace
dvojcestné	snadnější filtrace než u jednocestného zapojení	je nutný transformátor, vinutí musí mít odbočku uprostřed, má dvojnásobný počet závitů proti ostatním zapojením
Graetzovo	při stejných vlastnostech jako u dvoucestného zapojení není nutný transformátor	největší počet diod

se Zenerovou diodou podle obr. 58. Voltampérová charakteristika Zenerovy diody je na obr. 24. Odporem  $R$  nastavujeme pracovní bod diody, který se musí pohybovat mezi bodem  $I_{max}$  (maximální povolený proud diodou) a  $I_{min}$  (začíná se zvětšovat diferenciální odpor diody). Zatěžovací odpor musí být volen tak, aby se proud diodou nezměnil pod  $I_{min}$ .

Snadno vypočteme, že platí

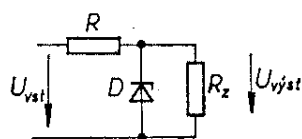
$$R_z > \frac{U_z}{U_1 + U_z} R.$$

Činitel stabilizace  $S$  je:

$$S = \left( 1 + \frac{R}{R_d} + \frac{R}{R_z} \right) \frac{U_2}{U_1}.$$

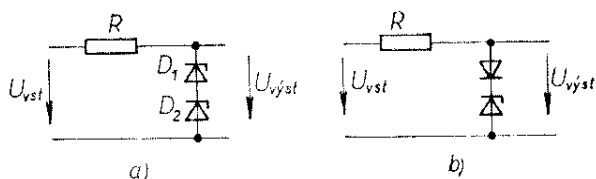
V běžných zapojeních je  $S$  asi 50 až 100.

Zenerovo napětí běžných diod je teplotně závislé. U diod s  $U_z > 5$  V je teplotní součinitel kladný, u diod s  $U_z < 5$  V záporný. Této vlastnosti můžeme využít k teplotní kompenzaci stabili-

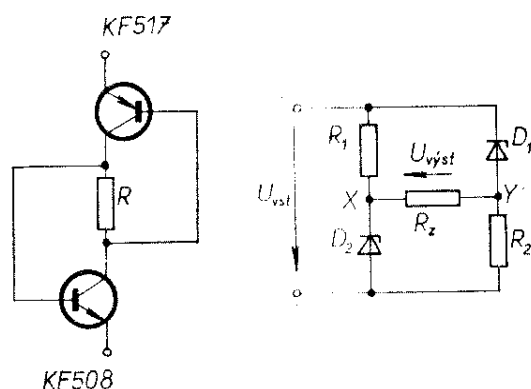


Obr. 58. Stabilizátor se Zenerovou diodou

zátoru. Například ke stabilizaci napětí  $+18\text{ V}$  nepoužijeme diodu s  $U_Z = 18\text{ V}$ , ale dvě v sérii zapojené diody, z nichž jedna má  $U_Z = 14\text{ V}$  a druhá  $U_Z = 4\text{ V}$  (obr. 59a).



Obr. 59. Teplotní kompenzace stabilizátoru se Zenerovou diodou



Obr. 60. Náhrada Zenerovy diody s malým  $U_Z$  dvěma tranzistory (vlevo)

Obr. 61. Můstkový stabilizátor (vpravo)

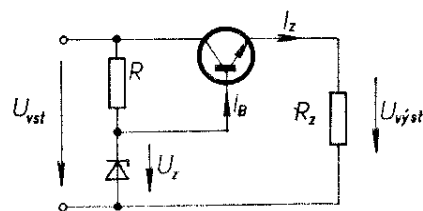
Nemáme-li k dispozici diodu s malým Zenerovým napětím, použijeme obyčejnou diodu podle obr. 59b. Zenerovu diodu s velmi malým  $U_Z$  můžeme nahradit dvěma tranzistory (obr. 60). Dynamický odpor dvoj pólu závisí na velikosti odporu  $R$ . Pro  $R \approx 2,5\ \Omega$  je  $R_d$  nulový, při dalším zmenšování je záporný.

Činitele stabilizace můžeme zvětšit můstkovým zapojením dvou Zenerových diod (obr. 61). Při změně vstupního napětí se změní i napětí v bodech  $X$  a  $Y$ . Zvolíme-li odpory  $R_1$  a  $R_2$  tak, aby byla tato změna stejná, je činitel stabilizace nekonečně velký. Výpočtem lze zjistit, že správná velikost odporů je  $R_1 = R_{d1}$  a  $R_2 = R_{d2}$ . Pro výstupní napětí platí

$$U_{\text{výst}} = 0,5 (U_{Z1} + U_{Z2}) .$$

Činitel stabilizace je až  $10^4$ .

Stabilizátory se Zenerovými diodami nelze použít tehdy, jestliže chceme ze

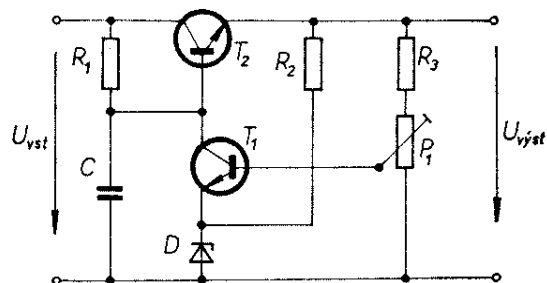


Obr. 62. Stabilizátor s jedním tranzistorem

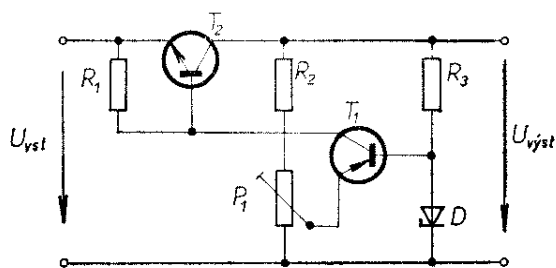
zdroje odebrat větší proud (nad  $100\text{ mA}$ ). Potom používáme zapojení s tranzistorem. Nejjednodušší stabilizátor s jedním tranzistorem a Zenerovou diodou je na obr. 62. Zmenšuje-li se výstupní napětí, zvětšuje se napětí mezi bází a emitorem tranzistoru a ten se více otevře. Výstupní napětí tedy zůstane konstantní. Odpor  $R$  prochází proud Zenerovy diody a báze tranzistoru. Proud diodou je maximální, je-li zátěž odpojena, minimální je při největším zatížení. Rozsah proudů, které může zátěž odebrat, se zvětší  $\beta$ krát ve srovnání se stejným zapojením bez tranzistoru ( $\beta$  je proudový zesilovací činitel tranzistoru). Činitel stabilizace je:

$$S = \frac{R}{R_d} \frac{U_2}{U_1} .$$

Nejpoužívanější zapojení stabilizátoru je na obr. 63. Zenerova dioda  $D_1$  a odpor  $R_2$  tvoří zdroj referenčního napětí. Tranzistor  $T_1$  porovnáva referenční a výstupní napětí. Napětí reguluje tranzistor  $T_2$ . Při větším odběru proudu je  $T_2$  nahrazen dvěma tranzistory v Darlingtonově zapojení. Zvětší-li se napětí na výstupu, zvětší se proud tekoucí do báze  $T_1$  který se otevírá. Napětí na jeho kolektoru se zmenšuje a  $T_2$  se zavírá. Chceme-li stabilizovat napětí opačné polaridy, použijeme místo tranzistorů



Obr. 63. Stabilizátor s regulačním tranzistorem



Obr. 64. Stabilizátor s regulačním tranzistorem

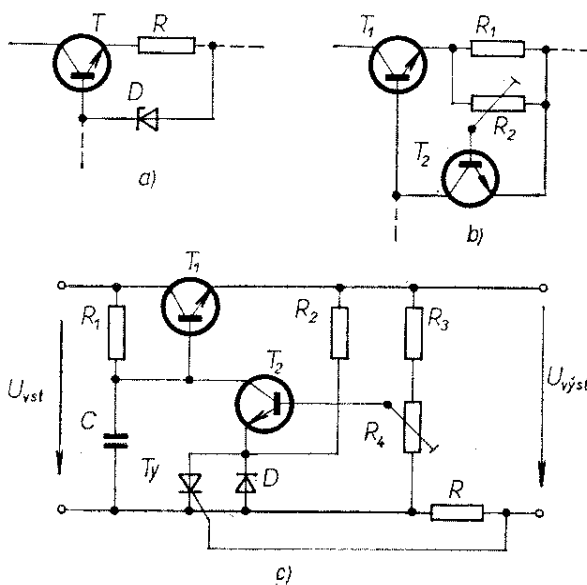
n-p-n tranzistory p-n-p a obrátíme polaritu Zenerovy diody, nebo zapojíme regulační tranzistor podle obr. 64. Zvětší-li se napětí na výstupu, tranzistor  $T_1$  se zavírá. Tím se zmenší i proud, tekoucí do báze  $T_2$  a ten se také zavírá. Výstupní napětí se tedy opět zmenší. V dokonalejších stabilizátorech nacházíme na místě  $T_1$  diferenciální zesilovač se dvěma tranzistory nebo integrovaný operační zesilovač.

Popsané zdroje mají jeden závažný nedostatek. Dojde-li ke zkratu na výstupních svorkách, zničí se regulační tranzistor. Proto zdroj doplňujeme elektronickou pojistkou. Velmi jednoduchá pojistka je na obr. 65a. V sérii s regulačním tranzistorem je zapojen malý odpor  $R$ . Zvětší-li se úbytek napětí na  $R$  na velikost danou rozdílem Zenerova napětí diody a napětí mezi bází a emitorem tranzistoru, dioda se otevře. Proud tranzistorem se již nemůže zvětšit. Místo Zenerovy diody můžeme použít jednu nebo více obyčejných diod (zvláště v případě, jde-li o germaniový tranzistor, který má malý úbytek napětí na přechodu báze – emitor). Zapojení podle obr. 65b umožňuje nastavit trimrem  $R_2$  maximální výstupní proud. Pojistka začne pracovat v okamžiku,

kdy se napětí na odporu  $R_1$  zvětší tak, že se  $T_2$  otevře.

V některých případech je vhodné, aby se zdroj při přetížení vypnul a setrval ve vypnutém stavu, dokud není vnějším zásahem znovu uveden do chodu. Příklad takové pojistky je na obr. 65c. Zvětší-li se napětí na odporu  $R$  tak, že se tyristor  $T_y$  otevře,  $T_2$  se dostane do saturace a  $T_1$  se zavře. Po odstranění příčiny přetížení musíme tyristor uvést do nevodivého stavu – nejsnáze odpojením zdroje od sítě.

V současné době je velké množství přístrojů vybaveno stabilizátory napětí. Proto přední světoví výrobci integrovaných obvodů vyvinuli velmi kvalitní integrované stabilizátory. N. p. TESLA Rožnov vyrábí stabilizátor MAA723, který je ekvivalentem obvodu  $\mu A723$  firmy Fairchild. Obvod obsahuje zdroj referenčního napětí, zesilovač odchylky, regulační tranzistor.



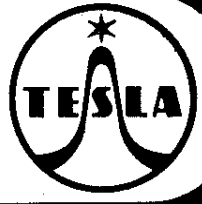
Obr. 65. Elektronická pojistka

## RADIOVÝ KONSTRUKTÉR

– vydává vydavatelství MAGNET, Praha 1, Vladislavova 26, telefon 260651-9 ● Šéfredaktor ing. František Smolík ● Redakce Praha 2, Lublaňská 57, tel. 296930 PSČ 120 00 ● Redakční rada: K. Bartoš, V. Brzák, K. Donát, I. Harminec, L. Hlinský, ing. L. Hloušek, A. Hofhans, Z. Hradiský, ing. J. T. Hyan, ing. J. Jaroš, ing. F. Králík, K. Novák, ing. O. Petráček, A. Pospíšil, L. Tichý, ing. J. Vackář, CSc., laureát st. ceny KG, ing. J. Zima, J. Ženíšek ● Ročně vyjde 6 čísel. Cena výtisku 4,50 Kčs, pololetní předplatné 13,50 Kčs, roční předplatné 27 Kčs ● Rozšiřuje PNS, v jednotkách ozbrojených sil MAGNET – administrace, Praha 1, Vladislavova 26, PSČ 113 66. Objednávky přijímá každá pošta i doručovatel. Objednávky do zahraničí vyřizuje PNS – vývoz tisku, Jindřišská 14, Praha 1 ● Dohledací pošta 07 ● Tiskne Polygrafia, závod 01, Svobodova 1, 128 17 Praha – Vyšehrad ● Za původnost a správnost příspěvku ručí autor. Návštěvy a telefonické dotazy pouze po 14. hod. ● Toto číslo vyšlo 23. července 1974.

© Vydavatelství Magnet Praha

# ELEKTRONICKÉ měřicí PŘÍSTROJE



v laboratorním, dílenském a servisním provedení

- Měřiče napětí a odvozených veličin
- Měřiče hodnot elektrických obvodů
- Měřiče kmitočtu, fáze, času a čítače
- Generátory
- Přístroje pro zobrazení elektrických veličin
- Ostatní měřicí přístroje a zařízení

INFORMACE, předvedení přístrojů, které můžete ihned odebrat, žádejte přímo ve značkových prodejnách TESLA nebo u jejich nadřízených OBLASTNÍCH STŘEDISEK SLUŽEB TESLA:

Pro Středočeský, Jihočeský, Západočeský a Východočeský kraj – OBS TESLA Praha 1, Václavské náměstí 35, PSČ 110 00, tel. 26 40 98; pro Severočeský kraj – OBS TESLA Ústí n. L., Pařížská 19, PSČ 400 00, tel. 274 31;; pro Jihomoravský kraj – OBS TESLA Brno, Rokytova ul. – areál č. 6, PSČ 600 00, tel. 67 74 49; pro Severomoravský kraj – OBS TESLA Ostrava, Gottwaldova 10, PSČ 700 00, tel. 204 09; pro Západoslovenský kraj – OBS TESLA Bratislava, Borodáčova 96, PSČ 800 00, tel. 200 65; pro Středoslovenský kraj – OBS TESLA Banská Bystrica, Malinovského 2, PSČ 974 00 tel. 255 50; pro Východoslovenský kraj – OBS TESLA Košice, Luník I, PSČ 040 00, tel. 362 32.

Přímý kontakt s výrobními podniky TESLA Brno a TESLA Liberec zařizuje

## TESLA obchodní podnik

- Adresa pro písemný styk: 113 40 Praha 1, Dlouhá 35, pošt. schr. č. 764
- Adresa pro osobní styk: Praha 8–Karlín, Sokolovská 95, 2. patro, obchodní úsek – odbor přístrojů, telefony: 275 156—8, 637 05—6, linka 86 a 69.



Tab. 19. Přehled a vlastnosti lakovaných měděných drátů

Jmenovitý průměr drátu [mm]	Max. vnější průměr drátu [mm]	Průřez drátu [mm²]	Činný odpor [Ω/km]	Váha [g/km]	Počet závitů na 1 cm²	Počet závitů na 1 cm²	Proudové zatížení [mA] při proudové hustotě				
							1,5 A	2,0 A	2,5 A	3,0 A	4,0 A
0,030	0,048	0,0007	25 268	6	200	39 000	1	1,5	1,7	2	3
0,040	0,058	0,0013	14 214	11	165	27 000	2	2,5	3	4	5
0,050	0,068	0,0020	9 096	17	140	19 000	3	4	5	6	8
0,056	0,077	0,0025	7 252	22	125	15 000	4	5	6	8	10
0,063	0,084	0,0031	5 730	28	115	12 500	5	6	8	10	12
0,071	0,092	0,0039	4 511	35	105	10 500	8	8	10	12	16
0,080	0,101	0,0050	3 553	45	95	9 000	8	10	13	15	20
0,090	0,111	0,0064	2 807	57	85	7 000	10	13	16	20	26
0,100	0,121	0,0079	2 274	70	78	6 000	12	16	20	24	32
0,112	0,141	0,0098	1 813	87	67	5 000	15	20	25	30	40
0,125	0,154	0,0122	1 455	109	61	3 800	18	24	30	36	48
0,132	0,161	0,0137	1 305	122	58	3 500	20	27	34	40	54
0,140	0,169	0,0154	1 097	137	55	3 200	23	31	38	46	62
0,150	0,179	0,0177	959	157	52	2 800	27	35	44	53	71
0,160	0,189	0,0201	845	179	49	2 500	30	40	50	60	80
0,170	0,200	0,0226	787	202	46	2 250	34	45	56	68	90
0,180	0,210	0,0254	702	227	44	2 000	38	51	63	76	102
0,190	0,220	0,0284	630	252	42	1 800	42	57	71	85	114
0,200	0,230	0,0314	568	280	40	1 650	47	63	78	94	126
0,212	0,247	0,0353	506	315	38	1 500	53	71	88	106	142
0,224	0,259	0,0392	453	350	36	1 350	59	78	98	118	156
0,236	0,271	0,0437	408	390	34	1 250	65	87	110	130	174
0,250	0,285	0,0491	364	437	32	1 100	74	98	123	148	196
0,265	0,303	0,0550	324	490	30	975	83	110	137	166	220
0,280	0,318	0,0616	290	549	29	870	92	123	154	185	246
0,300	0,338	0,0707	253	630	27	770	106	141	177	212	282
0,315	0,360	0,0776	229	695	25	690	116	155	194	233	310
0,335	0,380	0,0880	202	785	24	625	132	176	220	264	352
0,355	0,400	0,0990	180	883	23	560	148	198	248	296	396
0,375	0,420	0,1100	168	984	22	510	165	220	275	310	440
0,400	0,445	0,1257	142	1 120	21	450	188	250	314	376	500
0,425	0,477	0,1418	126	1 260	20	400	212	284	355	424	568
0,450	0,502	0,1590	112	1 417	19	360	240	320	400	480	640
0,475	0,527	0,1768	101	1 575	18	325	265	353	442	530	706
0,500	0,552	0,1963	91	1 750	17	300	294	392	490	588	784
0,530	0,590	0,2200	81	1 960	16	265	330	440	550	660	880
0,560	0,620	0,2463	72	2 195	15	240	370	493	616	740	986
0,600	0,660	0,2827	63	2 520	14	210	425	565	705	850	1 130
0,630	0,690	0,3140	57	2 775	13	190	470	630	785	940	1 260
0,670	0,725	0,3535	51	3 150	13	170	530	710	880	1 060	1 410
0,710	0,775	0,3962	45	3 520	12	155	595	790	990	1 190	1 580
0,750	0,825	0,4418	40	3 937	11	140	660	880	1 100	1 325	1 770
0,800	0,875	0,5027	35	4 480	10	120	750	1 000	1 250	1 500	2 000
0,850	0,925	0,5675	31	5 055	10	110	850	1 135	1 420	1 700	2 270
0,900	0,975	0,6362	28	5 670	9	100	955	1 270	1 590	1 910	2 550
0,950	1,025	0,7088	25	6 317	9	90	1 060	1 420	1 770	2 120	2 840
1,000	1,075	0,7854	22,8	7 000	9	83	1 180	1 570	1 965	2 360	3 140
1,06	1,155	0,8796	20,2	7 840	8	74	1 320	1 760	2 200	2 640	3 520
1,12	1,215	0,9817	18,1	8 750	8	65	1 475	1 955	2 460	2 950	3 930
1,18	1,275	1,0917	16,3	9 730	7	56	1 640	2 180	2 740	3 280	4 370
1,25	1,345	1,2250	14,5	10 920	7	50	1 835	2 445	3 030	3 670	4 890
1,32	1,415	1,3665	13,0	12 180	6	44	2 050	2 730	3 420	4 100	5 460
1,40	1,495	1,5394	11,6	13 720	6	40	2 250	3 000	3 750	4 500	6 000
1,50	1,595	1,7671	10,1	15 750	5	33	2 700	3 600	4 500	5 400	7 200
1,60	1,695	2,0106	8,6	17 920	5	28	3 000	4 000	5 000	6 000	8 000

Tab. 28. Doporučené typy elektronek k prvotnímu osazování

Druh	Žhavení		$U_f = 1,4 \text{ V}$	$U_f = 6,3 \text{ V}$	$I_f = 0,3 \text{ V}$	$I_f = 0,1 \text{ V}$
Diody	pro síťové usměrňovače	jedno- duché	DY86 DY87 DY51	EY86 EY88 EY87	PY88	UY82 UY85
	vysoko- frekvenční	jedno- duché		EA52		
Triody	zesilovače napětí	dvojitě		ECC82 ECC83 ECC85 E88CC ECC802S E83CC	ECC82 ECC83 PCC85 PCC88	UCC85
		se třemi diodami		EABC80	PABC80	UABC80
Vysoko- frekvenční a a nízko- frekvenční pentody	lineární	jedno- duché		EF80 EF86 E180F EF183 EF800 EF806S	EF80	
	řízené	jedno- duché		EF184		
		se dvě- ma diodami		EBF89		UBF89
Koncové tetrody a pentody	$P_{AR} \text{ max } =$ $= 18 \text{ W}$	jedno- duché		EL84 EL86 EL803S	PL84 PL500 PL504	UL84
		s trio- dou		ECL86 ECL85 ECL84 ECL200	PCL86 PCL85 PCL84 PCL200	UCL82
	$P_{AR} = 45 \text{ W}$	jedno- duché		EL34	PL509	
Sdružené elektronky		trioda pen- toda		ECF200 ECF201 ECF801 ECF802 ECF803	PCF200 PCF201 PCF801 PCF802 PCF803	
		trioda pen- toda		ECH81 ECH84 ECH200	PCH200	UCH81
Ukazatel vyladění				EM84	PM84	UM80

Tab. 41. Tyristory ČKD

Typ <sup>2)</sup>	$I_{AK}$ [A]	$I_{AKM}$ [A] <sup>1)</sup>	$U_{AK}$ [V]	$I_{GT}$ [mA]	$I_H$ [mA]	$U_{GT}$ [V]
T16	16	200	0,84	80	6,5	3
T25	25	300	0,82	80	6,5	3
T70	70	1 500	0,81	200	10,5	3
T100	100	2 100	0,72	200	10,5	3
T200	200	3 700	0,75	300	30,5	3
T250	250	4 000	0,65	300	30,5	3

<sup>1)</sup> impuls 10 ms,  $T_a = 35^\circ\text{C}$ <sup>2)</sup> závěrné napětí se udává jako u diod v typovém znaku (např. T16/1000)

Tab. 42. Tyristory (TESLA Piešťany)

Typ	$I_{GT}$ max [mA]	$U_T$ max [V]	$U_R$ max	$I_F$ [A]	$I_H$ [mA]
KT501	10	1,7	50	1	17
KT502	10	1,7	100	1	17
KT503	10	1,7	200	1	17
KT504	10	1,7	300	1	17
KT505	10	1,7	400	1	17
KT701	40	1,7	50	15	50
KT702	40	1,7	100	15	50
KT703	40	1,7	200	15	50
KT704	40	1,7	300	15	50
KT705	40	1,7	400	15	50
KT710	15	2	50	3	20
KT711	15	2	100	3	20
KT712	15	2	200	3	20
KT713	15	2	300	3	20
KT714	15	2	400	3	20